Vinícius Cesar Cadena Linczuk

ESTRATÉGIAS PARA MELHORAR O COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS EM REGIÕES DE CLIMA TEMPERADO NO SUL DO BRASIL

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo
Orientador: Prof. Dr. Fernando Simon Westphal

Florianópolis
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Linczuk, Vinícius Cesar Cadena
ESTRATÉGIAS PARA MELHORAR O COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS EM REGIÕES DE CLIMA TEMPERADO NO SUL DO BRASIL / Vinícius Cesar Cadena Linczuk ; orientador, Fernando Simon Westphal - Florianópolis, SC, 2015.
146 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Inclui referências

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Estratégias Bioclimáticas. 3. Comportamento Térmico. 4. Edificações Residenciais. 5. Clima Temperado. I. Westphal, Fernando Simon . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Vinícius Cesar Cadena Linczuk

ESTRATÉGIAS PARA MELHORAR O COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS EM REGIÕES DE CLIMA TEMPERADO NO SUL DO BRASIL

Esta Dissertação foi julgada e aprovada perante banca examinadora de trabalho final, outorgando ao aluno o título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído, do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - PósARQ, da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Florianópolis, 01 de Abril de 2015.

_____
Prof. Fernando Barth, Dr.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Banca Examinadora:

_____
Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.
Orientador - UFSC

_____
Prof. Martin Ordenes Mizgier, Dr.
UFSC

_____
Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira, Dr.
UFSC

_____
Prof. Antonio Cesar Silveira Baptista da Silva, Dr.
UFPEL

Dedico este trabalho à minha mãe, à
minha esposa e à minha filha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Professor Fernando Simon Westphal pela oportunidade e confiança na orientação desse trabalho, por sua dedicação e todo apoio dispensado.

A Deus pelas realizações alcançadas, à minha família que me acompanham de longe, à minha mãe, Míriam (*in memoriam),* minha grande inspiração, por todo amor e ensinamentos, ao meu pai, João Cesar, por todo suporte e dedicação, aos meus irmãos, Marcelo e Lilian, pela compreensão e amizade, aos meus sogros, Carlos e Idelita, por todo apoio e à minha esposa, Daniella, pela parceria, amor e dedicação a mim e à nossa filha Camila.

Aos amigos de Florianópolis, do Degr(au), e de Erechim, da UFFS, pelo incentivo, aos colegas de Mestrado, pela amizade, e do LabEEE, principalmente Michele Fossati e Roberto Lamberts, pelo acolhimento e todo aprendizado.

Especialmente ao Prof. Eduardo Castells (*in memoriam*), pela amizade, dedicação e pelas orientações, longas conversas sobre boa arquitetura em sua residência na Praia das Palmeiras.

Aos Professores Fernando Oscar Ruttkay Pereira e Martin Ordenes Mizgier pelas contribuições ao trabalho na banca de Qualificação e Professor Antonio Cesar Silveira Baptista da Silva por aceitar prontamente o convite para compor a Banca examinadora.

À UFSC, mais uma vez, pela formação, à CAPES e ELETROBRÁS/FEESC pelo apoio financeiro, e à UFFS por proporcionar, através do Plano de Educação Formal, a concessão de horas para o desenvolvimento dessa dissertação.

RESUMO

O Brasil apresenta um clima predominantemente tropical e as estratégias para o estabelecimento do conforto térmico das edificações concentram-se principalmente na necessidade de resfriamento da edificação. A região Sul, contudo, apresenta clima temperado, e em áreas pertencentes às Zonas Bioclimáticas 1 e 2, que correspondem às zonas com predomínio de desconforto por frio, há necessidade de aplicação de estratégias para o aquecimento da edificação. Para climas frios, a aplicação de isolamento térmico constitui-se uma importante estratégia de controle da temperatura das edificações, e a busca por edificações mais eficientes tem motivado recentes pesquisas relativas a sua aplicabilidade em países com climas mais quentes, incluso o Brasil. A presente pesquisa verificou as consequências da aplicação de estratégias recomendadas para o frio, como uma maior promoção de ganhos de calor por radiação, redução dos fluxos de calor por condução e convecção, no comportamento da temperatura interna da edificação. Por meio de simulações computacionais registrou-se o impacto das alterações na envoltória de uma edificação residencial unifamiliar (Caso Base) pelo método Graus-hora, em estações de inverno e verão, para três cidades representativas das Zonas Bioclimáticas 1 e 2 (Curitiba-PR, São Joaquim-SC, Santa Maria-RS). Verificou-se que a aplicação de isolamento térmico em paredes trouxe significativa redução da quantidade de Graus-hora para aquecimento, acompanhado do isolamento da cobertura, o uso de vidro duplo e minimização da infiltração pelas esquadrias. Para a Zona Bioclimática 2, a aplicação das estratégias de maior promoção de ganhos de calor por radiação e de isolamento térmico no piso não se apresentou adequada por registrar elevação da temperatura interna da edificação em períodos mais quentes. Os resultados apresentados possibilitam avançar no sentido de uma maior compreensão quanto ao comportamento térmico de edificações residenciais localizadas em clima temperado e a recomendação de estratégias que conduzam a uma melhoria do conforto térmico e uma maior eficiência energética.

Palavras-chave: Estratégias Bioclimáticas. Comportamento Térmico. Edificações Residenciais. Clima Temperado.

ABSTRACT

Brazil has mostly a tropical climate and the strategies for the thermal comfort of the buildings are mainly concentrated in the cooling needs. The South region of Brazil, however, has a temperate climate, and in areas belonging to Bioclimatic Zones 1 and 2, which have a predominance of discomfort by cold, there is need for implementing strategies for heating. For cold climates, the application of thermal insulation is an important temperature control strategy of the buildings and the search for more efficient buildings has motivated recent research regarding its applicability in countries with warmer climates, included Brazil. This dissertation analyzes the consequences of the implementation of recommended strategies for cold, as further promotion of radiative heat gain, reduction of conductive and convective heat fluxes, in the behavior of the internal temperature of the building. Through computer simulations was recorded the impact of changes in the envelope of a single family residential building (Base Case) by Degree-hour method, in winter and summer seasons, for three representative cities of Bioclimatic Zones 1 and 2 (Curitiba-PR, São Joaquim-SC, Santa Maria-RS). It was found that the application of thermal insulation on walls brought significant reduction of the amount of degree-hour for heating, together with the insulating of the roof, the use of double glazing and the reducing of the infiltration through window frames. For Bioclimatic Zone 2, the implementation of strategies for further promotion of radiative heat gains and thermal insulation in the floor did not show up properly by registering increase in internal temperature of the building in warmer periods. The presented results allow progress towards a greater understanding of the thermal behavior of residential buildings located in temperate climate and recommending strategies for an improvement of thermal comfort and greater energy efficiency.

Keywords: Bioclimatic strategies. Thermal behavior. Residential Buildings. Temperate climate.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE QUADROS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANSI - *American National Standard Institute*

ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc.*

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

BNH - Banco Nacional de Habitação

CIB - *Conseil International du Batiment*

EPW - *EnergyPlus Weather File*

ETICS - *External Thermal Insulation Composite System*

FGTS - Fundo de Garantia do Tempo de Serviço

FINEP - Financiadora de Projetos Especiais

FS - Fator Solar

GHA - Graus-hora de Aquecimento

GHR - Graus-hora de Resfriamento

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

CONPET - Programa Nacional de Conservação de Petróleo e Derivados

IECC - *International Energy Conservation Code*

IESNA - *Illuminating Engineering Society of North America*

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Ambiental

ISO - *International Organization for Standardization*

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

NBR - Norma Técnica Brasileira

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem

PHPP - *Passive House Planning Package*

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RILEM - *Reunión Internationale de Laboratoires d`Essais et de recherches sur les Materiaux et constructions*

RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais

VD - Vidro duplo

VS - Vidro simples

VUP - Vida Útil Projetada

LISTA DE SÍMBOLOS

A - Abertura de ventilação : Percentual de área de abertura em relação à área de piso [%]

α - Absortância [adimensional]

φ – Atraso Térmico [Horas]

CT – Capacidade Térmica [kJ/m²K]

FS – Fator Solar [%]

Tint - Temperatura interna do ar [°C]

Text - Temperatura externa do ar [°C]

U - Transmitância Térmica [W/(m²K)]

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

1.1. JUSTIFICATIVA

O Brasil apresenta uma grande extensão e boa parte de seu território está localizado na zona térmica tropical, entre o Equador e o Trópico de Capricórnio, onde a preocupação no estabelecimento de conforto térmico das edificações concentra-se principalmente na necessidade de resfriamento.

A região Sul brasileira, contudo, apresenta um clima diferenciado, pertencente à zona térmica temperada, caracterizada por grande variação sazonal de temperaturas e grande amplitude térmica anual. Nesta porção do território são necessárias preocupações com o conforto térmico no interior das edificações tanto no verão quanto no inverno.

O atual zoneamento bioclimático brasileiro, estabelecido pela norma NBR 15.220 - Desempenho Térmico de Edificações - Parte 3, (ABNT, 2005) divide o país em oito zonas classificadas pelas médias mensais das temperaturas máximas e mínimas e umidades relativas médias do ar. A região Sul, compreendida pelos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul enquadra-se em três Zonas Bioclimáticas. Uma pequena parte da região Sul é compreendida pela Zona Bioclimática 1, localidades de elevadas altitudes com clima predominantemente frio; e pela Zona Bioclimática 3, regiões localizadas nas proximidades com o litoral, nos estados do Paraná e Santa Catarina, com clima predominantemente ameno, zona que se estende à região sudeste e centro-oeste do país. O restante é

compreendida pela Zona Bioclimática 2, que registra baixas temperaturas no inverno e apresenta verão quente.

As Zonas Bioclimáticas 1 e 2 são as que apresentam os registros mais baixos de temperatura no país e reúnem em torno de 20 milhões de pessoas, 10% da população do país (IBGE, 2014). Em área, corresponde em aproximadamente 7,2% (613.135 km²) do território nacional (ABNT, 2005), equivalente às áreas territoriais somadas de países como Espanha (505.370 km²) e Portugal (92.090 km²) (IBGE, 2014).

O clima temperado semelhante ao do Brasil pode ser encontrado, conforme a Classificação Climática de Köppen-Geiger (PEEL et al., 2007), em outros países como Estados Unidos e China. Esses países, no entanto, apresentam climas ainda mais severos de frio, e comparativamente, o frio brasileiro pode ser considerado moderado.

A cidade de Curitiba, por exemplo, localizada no estado do Paraná e pertencente a Zona Bioclimática 1, apresenta em torno de 20% das horas do ano em conforto e 70% em desconforto por frio (GOULART et al., 1998). No inverno, há ocorrência de geadas e registro de temperaturas mínimas próximas de 0°C e temperatura média ao longo do ano em torno de 17°C.

O fato das Zonas Bioclimáticas 1 e 2 apresentarem principalmente um alto percentual de horas de desconforto por frio durante o ano, demanda uma grande atenção dos arquitetos quanto à escolha de materiais de construção e adoção de estratégias passivas para a manutenção do conforto térmico nas edificações e baixo consumo energético para aquecimento.

Todavia, conforme Graf (2011), apesar das diferenças climáticas existentes no país, verifica-se uma padronização das edificações no

território nacional sem a preocupação com o isolamento adequado do envelope das edificações.

Além disso, a possibilidade de climatização artificial dos ambientes colocou o "projetista em uma situação bastante cômoda perante os problemas de adequação do edifício ao clima" (LAMBERTS et al., 2014). Neste contexto, as práticas de condicionamento da edificação exclusivamente por meio de estratégias passivas passaram a ter menor importância. Por outro lado, estas edificações, em grande parte, tornaram-se dependentes do uso de energia para a manutenção das condições de conforto.

A Crise do Petróleo, ocorrida na década de 1970, contudo, alertou o mundo quanto ao uso indiscriminado de energia e o modelo baseado no consumo intensivo dos recursos não renováveis passou a ser questionado. Em decorrência, houve o surgimento de regulamentos, normas e diversas diretivas internacionais, cada vez mais rigorosas, que fixaram metas no intuito de garantir edificações mais eficientes.

A preocupação crescente com a qualidade das edificações, o nível de conforto dos usuários e consumo de energia conduziu o surgimento de recentes normatizações no Brasil como a Norma de Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005), Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais (INMETRO, 2012) e Norma de Desempenho da Edificação (ABNT, 2013). Essas normativas indicam os requisitos mínimos dos componentes da envoltória a serem atendidos na edificação para satisfazer as necessidades básicas de conforto e eficiência energética. No entanto, para a região Sul, os valores de transmitância térmica estabelecidos apresentam-se pouco restritivos quando comparados com

os estabelecidos em outros países com semelhante característica climática.

Em climas frios, a aplicação de isolamento térmico na envoltória se constitui uma importante estratégia de controle da temperatura das edificações, contudo seu uso no Brasil ainda se apresenta pouco explorado. A busca por edificações mais eficientes tem motivado recentes pesquisas (CHVATAL E ROSSI, 2011; SCHNIEDERS et al., 2012; TUBELO et al., 2014) com respeito a aplicabilidade de isolamento térmico e do padrão alemão *Passivehaus* (edificações altamente isoladas e estanques) em edificações localizadas em clima temperado, incluso no Brasil.

Alguns autores (FROTA E SCHIFFER, 1988; PAPST, 1999; FEIST et al., 2005), entretanto, apontam que a aplicação de isolamento térmico e o uso excessivo de massa térmica para aquecimento podem trazer consequências na elevação da temperatura interna da edificação no verão, caso não haja ampla possibilidade de efetiva ventilação natural e proteção solar das esquadrias.

O fato das Zonas Bioclimáticas 1 e 2 apresentarem clima predominante frio e experimentarem temperaturas mais altas no período de verão coloca em dúvida a aplicação de estratégias de conforto térmico recomendadas para o frio, pois em períodos do ano mais quentes há a possibilidade de superaquecimento da edificação.

Buscando contribuir na temática do estabelecimento de conforto térmico para inverno e verão e a garantia de maior eficiência de edificações residenciais localizadas em climas temperados, este estudo pretende avaliar a eficácia da aplicação de estratégias recomendadas para o frio (como a promoção de ganhos de calor por radiação, a

redução dos fluxos de calor por condução e por convecção) e verificar o impacto nas temperaturas internas, avaliando alterações na temperatura interna da edificação e a correspondente necessidade de aquecimento e resfriamento da edificação.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Avaliar a aplicação de estratégias de condicionamento passivo para edificações residenciais em cidades localizadas em clima temperado, Zonas Bioclimáticas 1 e 2, no sul do Brasil, verificando as consequências no comportamento da temperatura interna da edificação em estações de inverno e verão.

1.2.2. Objetivos Específicos

a) Analisar o comportamento térmico de uma edificação residencial unfamiliar (Caso base) que atende aos requisitos construtivos estabelecidos por regulamentações brasileiras na área de desempenho térmico para as Zonas Bioclimáticas 1 e 2.

b) Identificar os componentes da envoltória que permitem ganhos de calor ao ambiente interno e os que geram perdas ao ambiente externo para estações de inverno e verão.

c) Analisar o comportamento térmico da edificação em estudo com a aplicação de alterações no envelope construtivo.

d) Identificar estratégias bioclimáticas de projeto adequadas ao clima temperado e as que possam causar sobreaquecimento da edificação em períodos mais quentes do ano.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação se estrutura em 5 (cinco) capítulos. O primeiro capítulo aborda a justificativa para o tema do trabalho, a descrição dos objetivos e a estrutura da dissertação.

No segundo capítulo é realizada a revisão bibliográfica onde são abordados os temas que tratam do estabelecimento do conforto térmico de edificações, especialmente em climas temperados. Neste capítulo são desenvolvidos temas relativos às estratégias para frio e calor associadas ao conceito de projeto bioclimático da edificação, a caracterização do clima encontrado na região Sul do Brasil, a apresentação de normativas e regulações brasileiras e a comparação com normativas internacionais quanto à otimização do envelope construtivo para climas frios.

No terceiro capítulo apresenta-se a metodologia da pesquisa com a definição das localidades (onde serão realizadas as simulações computacionais), definição do Caso Base (modelo a ser testado), parâmetros construtivos e de entrada para simulação computacional e a apresentação da sistemática das avaliações realizadas.

No quarto capítulo são apresentados os resultados das simulações e verificados os impactos quanto à demanda de aquecimento e resfriamento das alterações na envoltória da edificação.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões do estudo, as limitações do trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O PROJETO BIOCLIMÁTICO

Conforto térmico, segundo a ASHRAE (2010), “(...) é a condição da mente que expressa satisfação [do homem] com o ambiente térmico”. O homem mantém constante relação de equilíbrio térmico com o ambiente por meio das trocas térmicas e se protege em abrigos daquelas "(...) manifestações climáticas que seu organismo não está preparado para controlar" (ROMERO, 2000). O ambiente construído, portanto, deve garantir condições necessárias ao bem-estar do homem.

O estabelecimento do conforto térmico em edificações já era uma preocupação evidente em civilizações antigas, onde verificava-se, por exemplo, a adoção de estratégias de inércia térmica, principalmente, em climas severos de frio e calor. No vilarejo próximo à cidade de Loyang (Figura 1), ao norte da China, as edificações eram subterrâneas, os pátios (Figura 2) permitiam a entrada de luz, calor e ventilação, e a massa térmica oferecida pelo solo proporcionava temperaturas brandas tanto para o inverno quanto para o verão.

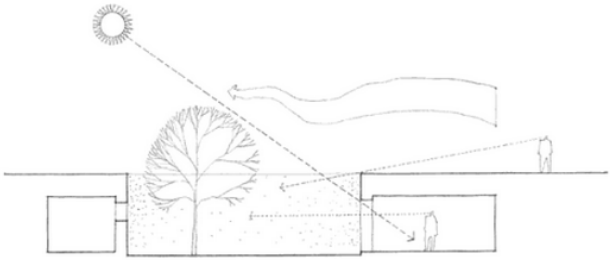
Figura 1 - Vilarejo próximo à cidade de Loyang na China.

Fonte: (RUDOFSKY, 1964 p.15)

A inércia térmica consiste na capacidade da edificação em manter, através de sua massa, a temperatura interna longe dos picos registrados no ambiente externo. Sendo assim, a envoltória da edificação

assume papel importante, não só pelo oferecimento de proteção, mas também para o equilíbrio e manutenção das condições de conforto.

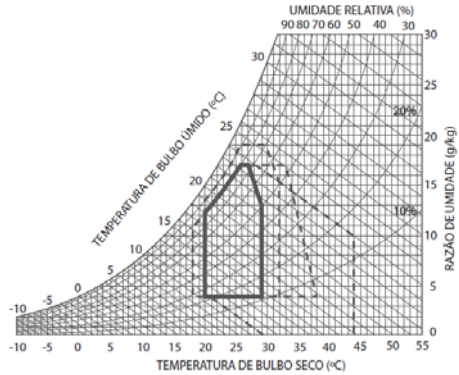
Figura 2 - Representação gráfica esquemática (Corte) do Vilarejo próximo à cidade de Loyang na China.



Fonte: (CHING, 2005 p.111)

A aplicação de estratégias naturais à arquitetura para satisfazer as exigências de conforto térmico do homem define o conceito de Projeto Bioclimático desenvolvido na década de 1960 pelos irmãos Olgyay. Os autores desenvolveram um diagrama bioclimático, conhecido como a Carta Bioclimática que aponta estratégias de adaptação da arquitetura ao clima (OLGYAY, 1973). Este diagrama passou a ser aprimorado e, em 1969, Givoni propôs sua Carta Bioclimática para edificações, a qual prevê condições internas do edifício de acordo com as condições climáticas externas. Em 1992, Givoni concebeu uma carta bioclimática (Figura 3) mais adequada a países em desenvolvimento a partir da observação de que as pessoas que habitam edifícios sem condicionamento artificial e naturalmente ventilados, usualmente aceitam, pelo processo de aclimatação, uma grande variação de temperatura e velocidade do ar. Os limites máximos da sua carta anterior foram expandidos e passaram de 18 à 25ºC no inverno e 20 à 27ºC no verão para 18 e 27ºC no inverno e 20 e 29ºC no verão.

Figura 3 - Carta Bioclimática adaptada para países em desenvolvimento.



Fonte: Adaptado pelo autor (GIVONI, 1992 p.21).

A Carta Bioclimática possibilita aos projetistas identificar, a partir de dados de temperatura e umidade relativa, as mais adequadas estratégias a serem implantadas em uma edificação para que alcance melhores condições de conforto.

Watson e Labs (1983) definiram estratégias de controle climático, estabelecidas para inverno e verão por meio das trocas térmicas: condução, convecção, radiação e evaporação (Figura 4).

Figura 4 - Estratégias de controle climático de Watson e Labs (1983).

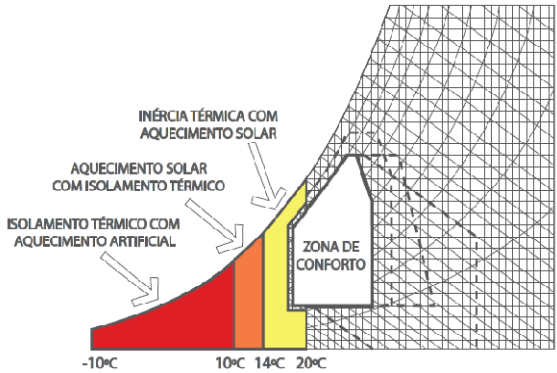
ESTRATÉGIAS DE CONTROLE		CONDUÇÃO	CONVECÇÃO	RADIAÇÃO	EVAPORAÇÃO
INVERNO	PROMOVER GANHOS			Promover ganho de calor solar	
	RESISTIR ÀS PERDAS	Minimizar fluxos de calor por condução	Minimizar fluxo de ar externo Minimizar infiltração de ar		
VERÃO	RESISTIR AOS GANHOS	Minimizar fluxos de calor por condução	Minimizar infiltração de ar	Minimizar ganho solar	Promover resfriamento evaporativo
	PROMOVER PERDAS	Promover resfriamento através do solo	Promover ventilação	Promover resfriamento radiativo	

Fonte: Adaptado pelo autor. (WATSON; LABS,1983 p.5)

As estratégias para inverno indicam a necessidade de promover ganhos de calor através da radiação solar por meio das janelas, e resistir às perdas de calor através da minimização dos fluxos de calor por condução e convecção por meio de isolamento e infiltração de ar, respectivamente. Dentre as estratégias indicadas por Watson e Labs (1983), as soluções sugeridas para inverno e verão são opostas, com exceção à minimização dos fluxos de calor por condução e infiltração de ar. Este fato reflete a dificuldade em trabalhar com edificações localizadas em climas temperados, onde a edificação deve oferecer capacidade de promover o ganho de calor no inverno e perdas no verão.

As estratégias de isolamento térmico e inércia térmica (Figura 5), quando associados à estratégia de aquecimento solar, são destinadas ao estabelecimento do conforto térmico para temperaturas baixas.

Figura 5 - Estratégias de conforto térmico para temperaturas baixas.



Fonte: Adaptado pelo autor (GIVONI, 1992 p.21).

O uso do isolante no envelope construtivo aumenta a resistência térmica, propriedade que permite diminuir as perdas de calor por condução, e consequentemente, diminuir o consumo de energia para

aquecimento do ambiente. Por sua vez, a inércia térmica pode ser utilizada tanto no frio quanto no calor. Para aquecimento, refere-se à capacidade da envolvente em armazenar o calor durante o dia e devolvê-lo à noite, abrandando os picos de temperatura externa.

A garantia de um bom desempenho térmico da edificação está também relacionado à correta escolha dos materiais e sistemas construtivos a serem adotados, realizada na fase de projeto.

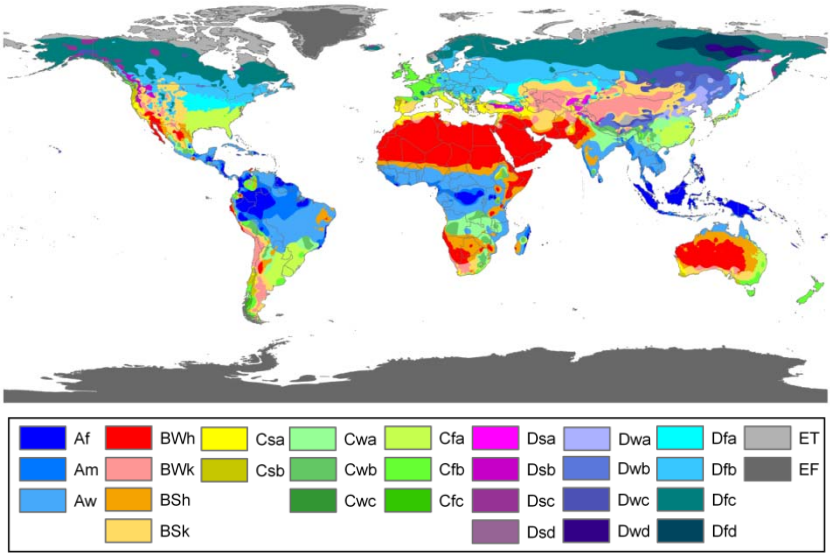
> Os materiais de construção têm uma forte influência sobre as condições de conforto do ambiente interior. A especificação dos materiais exige o entendimento de suas propriedades e de sua adequação às características plásticas do projeto. O uso de isolamento térmico ou proteção solar em paredes, janelas e telhados, o tipo de telha e o tipo de vidro empregado nas janelas devem ser estudados a fim de se evitar ganhos térmicos excessivos e obter melhorias nas condições de conforto no interior. Esta tarefa deve ser balanceada entre os arquitetos e os outros profissionais, devendo estes conceitos estar presentes desde as etapas iniciais do projeto arquitetônico. (LAMBERTS et al., 2014)

Tanto a escolha de materiais construtivos como a definição das estratégias a serem aplicadas passam pela adequação ao clima em que a edificação estará exposta. No caso do clima temperado, as escolhas se tornam um tanto difíceis, como dito anteriormente, pois devem contemplar o conforto térmico da edificação tanto no inverno quanto no verão. Dessa forma a próxima seção passa pela compreensão do clima temperado encontrado na região Sul brasileira, sua caracterização e semelhanças encontradas em outros países.

2.2. CLIMA TEMPERADO E A REGIÃO SUL BRASILEIRA

O Brasil possui um extenso território e, por esta razão, apresenta uma grande diversidade climática. Conforme Classificação Climática de Köppen-Geiger (PEEL et al. 2007) (Figura 6 e Quadro 1), o Brasil apresenta regiões de Clima Tropical (Af, Am, Aw) ao norte; Árido (BWh, BSh) no nordeste e Temperado (Cfa, Cfb, Cwa, Cwb) ao sul.

Figura 6 - Classificação Climática de Köppen-Geiger: Mundo.



Fonte: Imagem adaptada pelo autor de PEEL et al. (2007).

Quadro 1 - Legenda da Classificação Climática de Köppen-Geiger.

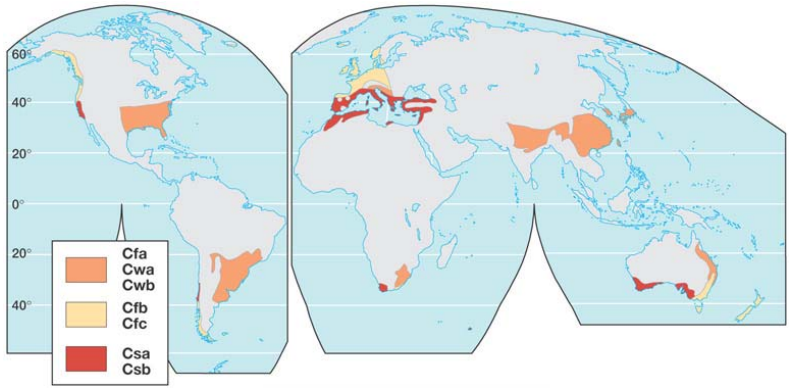
A - Tropical Climas megatérmicos Temperatura média do mês mais frio do ano > 18 °C Estação invernosa ausente Forte precipitação anual (superior à evapotranspiração potencial anual)	**Af**	Clima úmido Ocorrência de precipitação em todos meses do ano Inexistência de estação seca definida
	Am	Clima de monção Precipitação total anual média > 1500 mm Precipitação do mês mais seco < 60 mm
	Aw	Chuvas de Verão

B - Clima Árido Climas secos (precipitação anual inferior a 500 mm) Evapotranspiração potencial anual superior à precipitação anual / Não existem cursos de água permanentes	**BWh**	Clima desértico	Seco e quente Temperatura média anual do ar > 18 °C Deserto ou semideserto quente (temp. anual média do ar igual ou superior a 18 °C)
	BSh	Clima das estepes Precipitação anual total média compreendida entre 380 e 760 mm	
C - Clima Temperado Climas mesotérmicos Temperatura média do ar dos 3 meses mais frios compreendidas entre -3 °C e 18 °C Temperatura média do mês mais quente > 10 °C Estações de Verão e Inverno bem definidas	**Cfa**	Clima úmido Ocorrência de precipitação em todos os meses do ano Inexistência de estação seca definida	Verão quente Temperatura média do ar no mês mais quente ≥ 22°C
	Cfb		Verão temperado Temperatura média do ar no mês mais quente < 22°C Temp. médias do ar nos 4 meses mais quentes > 10°C
	Cwa	Chuvas de Verão	Verão quente Temperatura média do ar no mês mais quente ≥ 22°C
	Cwb		Verão temperado Temperatura média do ar no mês mais quente < 22°C Temp. médias do ar nos 4 meses mais quentes > 10°C

Fonte: Adaptada pelo autor de PEEL et al. (2007).

O clima temperado existente no sul do Brasil, com classificação climática Cfa (PEEL et al. 2007), assemelha-se ao encontrado ao sul dos Estados Unidos e China, e em pequenas porções ao sul da Europa Central, África do Sul, Austrália e Japão (Figura 7).

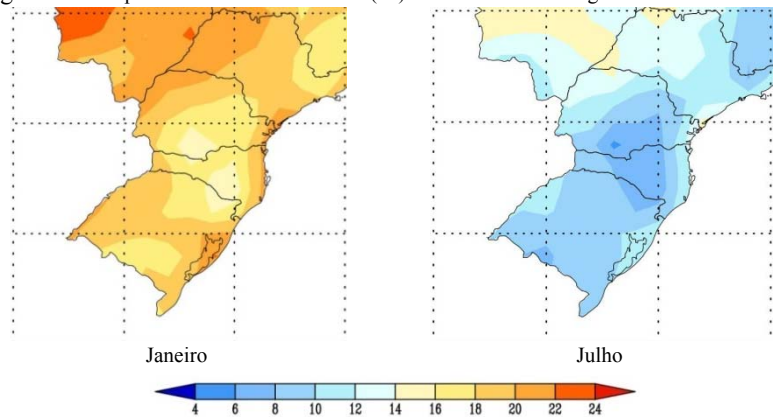
Figura 7 - Distribuição no mundo do clima temperado.



Fonte: (PEARSON, 2005)

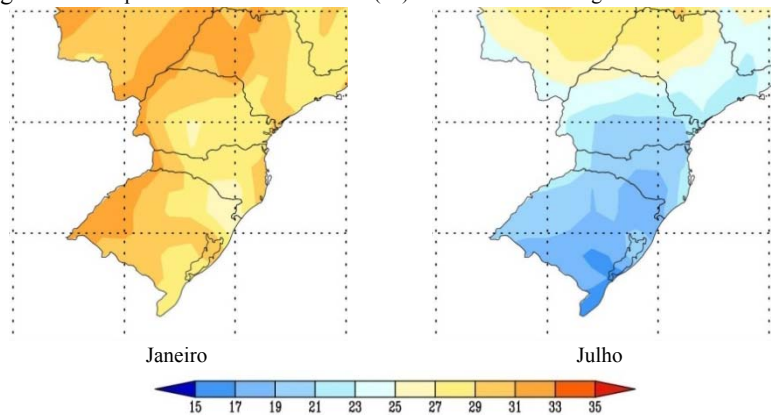
Conforme Nimer (1989) o clima na região Sul do Brasil é predominantemente mesotérmico do tipo temperado, encontrado também em maiores altitudes da região sudeste. Esta região apresenta uma importante oscilação térmica ao longo do ano, com variação da temperatura mínima e máxima em torno de 10°C, entre os meses de Janeiro e Junho (Figura 8 e Figura 9), além do do predomínio de frentes polares e grande quantidade de chuvas, distribuídas ao longo do ano.

Figura 8 - Temperatura média das mínimas (°C) - Normais Climatológicas 1961-1990.



Fonte: Adaptado pelo autor de INMET (2014)

Figura 9 - Temperatura média das máximas (°C) - Normais Climatológicas 1961-1990.



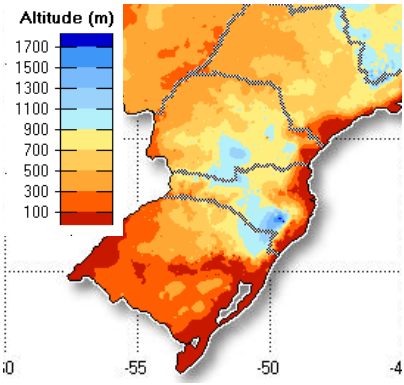
Fonte: Adaptado pelo autor de INMET (2014)

Verifica-se que as temperaturas mais baixas no inverno ocorrem no estado de Santa Catarina e porção sul do estado do Paraná. Nas latitudes mais altas e próximo ao litoral há o registro das menores temperaturas máximas no inverno.

Conforme GAPLAN (1991), no sul do Brasil há atuação de duas massas de ar: a Massa Tropical Atlântica, principalmente na primavera e no verão, caracterizada pelos ventos provindos do quadrante norte com elevadas temperaturas e forte umidade; e a Massa Polar Atlântica, durante o outono e o inverno, que se caracteriza por ventos do quadrante sul e por temperaturas baixas.

A Figura 10 ilustra as altitudes encontradas no sul do Brasil. Conforme Nimer (1989), os estados do Paraná e Santa Catarina apresentam 50% de sua área em altitudes superiores a 600m enquanto que no Rio Grande do Sul apenas 10%. Nas áreas mais elevadas ocorrem os registros de temperaturas mais baixas do país com possibilidade de neve durante o inverno.

Figura 10 - Altitude registrada na região Sul do Brasil.

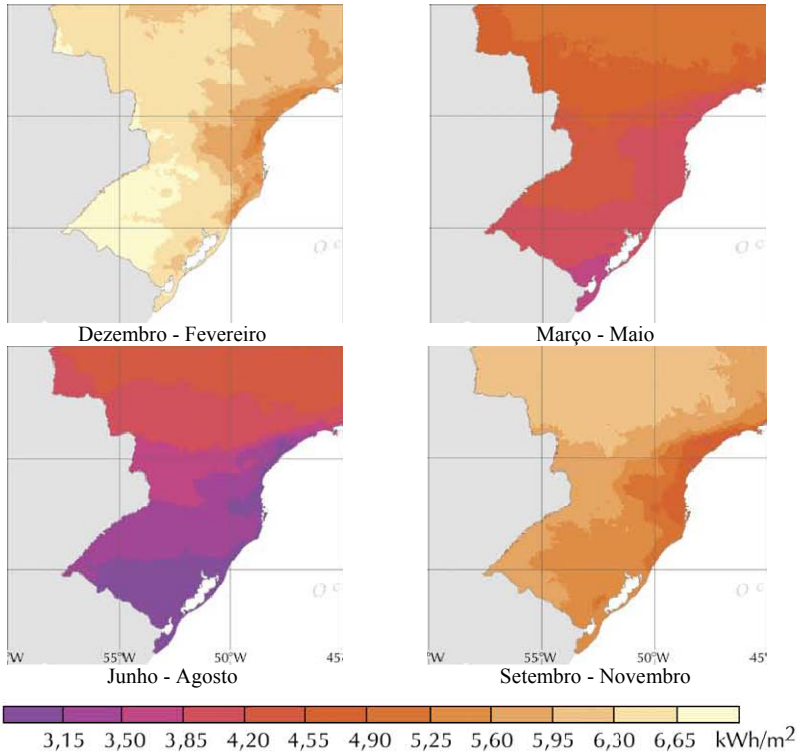


Fonte: Adaptado pelo autor de RORIZ (2012b).

A Figura 11 ilustra a grande variação sazonal da radiação solar na região Sul. Conforme Pereira et al. (2006), na região Sul é observada uma quantidade maior de nebulosidade nos meses de inverno e, na costa norte do estado de Santa Catarina e litoral do Paraná, os registros dos menores valores de irradiação global do Brasil.

> " (...) as características de clima temperado dessa região e a influência de sistemas frontais associados ao Anticiclone Polar Antártico contribuem para o aumento da nebulosidade na região, principalmente durante os meses de Inverno". (PEREIRA et al., 2006)

Figura 11 - Radiação Solar Global Horizontal da Região Sul - Média Sazonal (kWh/m²).



Fonte: Adaptado pelo autor do Atlas Brasileiro de Energia Solar PEREIRA et al. (2006)

Verifica-se, portanto, que o clima no sul do Brasil apresenta estações de verão e inverno bem definidas e as temperaturas mais baixas estão relacionadas às grandes altitudes. Desta forma, nesta região são necessárias preocupações para o estabelecimento de conforto térmico tanto para o inverno quanto para o verão.

2.3. NORMATIZAÇÃO EM DESEMPENHO DA EDIFICAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO BRASILEIRA EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.

As normatizações relativas ao desempenho térmico de edificações existentes no país tiveram um desenvolvimento recente. Neste capítulo são apresentados um breve histórico do surgimento das normatizações e as diretrizes construtivas para as Zonas Bioclimáticas 1 e 2.

2.3.1. Norma de Desempenho Térmico de Edificações (NBR 15.220)

Frente ao contexto de má qualidade de alguns sistemas construtivos, a falta de critérios técnicos para avaliação por órgãos financiadores, e julgamento de licitações, discutia-se, na década de 1990, a necessidade do desenvolvimento de uma normalização sobre desempenho térmico e energético de edificações, adequada à realidade brasileira. Ghisi et al. (2003)

A partir de um convênio com a FINEP e o apoio do Comitê Brasileiro de Construção Civil (COBRACON) criaram-se três Comissões de Estudo, coordenadas pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), responsáveis pela elaboração dos projetos de norma relativos ao desempenho acústico, iluminação natural e desempenho térmico de edificações. No ano de 1998, os textos foram apreciados pela ABNT e após um processo de adequações a Norma de Desempenho Térmico de Edificações teve sua publicação em 2005.

A norma NBR 15.220 (ABNT, 2005) traz recomendações e diretrizes construtivas, quanto ao desempenho térmico de habitações

unifamiliares de interesse social aplicáveis na fase de projeto para as Zonas Bioclimáticas do território brasileiro.

Divide-se em 5 partes, as quais tratam dos seguintes temas:

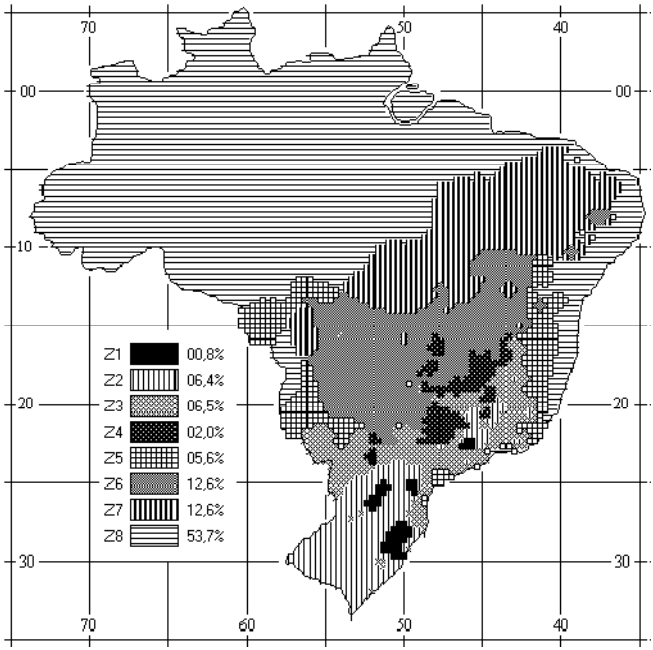
1. Definições, símbolos e unidades;
2. Métodos de cálculo da transmitância, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações;
3. Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
4. Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
5. Medição da resistência térmica e da condutividade térmica em regime estacionário pelo método fluximétrico.

O território brasileiro é dividido em oito zonas (Figura 12) classificadas quanto ao clima, caracterizadas por dados das médias mensais das temperaturas máximas e mínimas e média mensais das umidades relativas do ar.

As Zonas Bioclimáticas 1 e 2 correspondem a aproximadamente 10% e 70% da região Sul, respectivamente, e representam 7,2% do território brasileiro.

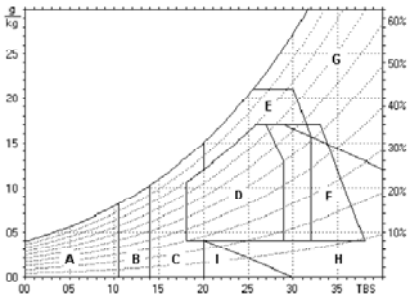
A Classificação do clima de 330 cidades brasileiras e as recomendações construtivas tiveram por base a Carta Bioclimática sugerida por Givoni (1992) (Figura 13) com algumas adaptações quanto aos aspectos construtivos culturais brasileiros (Figura 14).

Figura 12 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro.



Fonte NBR 15.220:2005 (ABNT, 2005 p.3)

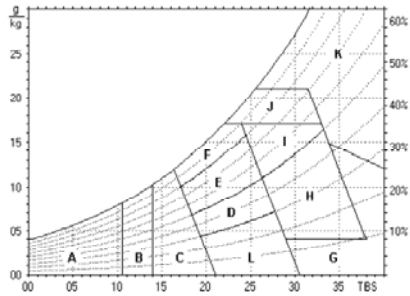
Figura 13 - Carta Bioclimática por Givoni (1992).



LEGENDA: A - Sistema artificial de aquecimento / B+C - Aquecimento solar da edificação / C - Massa térmica para aquecimento / D - Conforto térmico / E - Ventilação / F - Massa térmica de refrigeração / G - Sistema artificial de refrigeração / H - Resfriamento evaporativo / I - Umidificação do ar

Fonte: RORIZ et al. (1999 p.3)

Figura 14 - Carta Bioclimática Adaptada por Roriz et al. (1999).



LEGENDA: A - Sistema artificial de aquecimento / B+C - Aquecimento solar da edificação / C - Massa térmica para aquecimento / D - Conforto térmico (baixa umidade) / E - Conforto térmico / F - Desumidificação (renovação de ar) / G+H - Resfriamento evaporativo / H+I - Massa térmica de refrigeração / I+J - Ventilação / K - Sistema artificial de refrigeração / L - Umidificação do ar

Fonte: RORIZ et al. (1999 p.4)

Quadro 2 - Limites e recomendações para Zona Bioclimática 2.

NBR 15220:2005				
Zona Bioclimática 1		**Zona Bioclimática 2**		
				
OBS.: As recomendações da norma para Zonas Bioclimáticas 1 e 2 são semelhantes com exceção, para ZB1 para não necessidade de estratégia de condicionamento térmico passivo para verão.				
Aberturas para ventilação		A (em % da área de piso)		
Médias		15% < A < 25%		
Sombreamento		Permitir sol durante o período frio na ZB1 e no inverno para ZB2		
		Transmitância térmica U (W/m2.K)	Atraso térmico φ (Horas)	Fator solar FSo (%)
Paredes	Leve	U ≤ 3,00	φ ≤ 4,3	FSo ≤ 5,0
Coberturas	Leve isolada	U ≤ 2,00	φ ≤ 3,3	FSo ≤ 6,5
Estratégias de condicionamento térmico passivo				
Verão	J) Ventilação cruzada	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.		
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.		
	C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.		

Fonte: Adaptado pelo autor de NBR 15.220:2005 (PARTE 3) (ABNT, 2005 p.4).

Conforme Roriz et al. (1999), foram realizadas adaptações na inclinação dos limites de temperatura da zona de conforto; subdivisão da zona de conforto com umidade entre 30 e 50% e outra entre 50 e 80%; criação da zona F com recomendações de trocas de ar com taxas inferiores às da zona J; subdivisão da zona de ventilação; e adoção do limite inferior da zona de conforto pela umidade relativa.

Para cada Zona Bioclimática foram definidos requisitos mínimos de transmitância térmica, atraso térmico e fator solar para paredes e coberturas. Além disso, apresentados parâmetros relativos ao tamanho das aberturas para ventilação e orientações quanto à necessidade de sombreamento das aberturas para períodos de inverno e varão.

Os limites e recomendações pela NBR 15220 (ABNT, 2005), em relação às Zonas Bioclimáticas 1 e 2 seguem descritos no Quadro 2.

A norma também estabelece estratégias de condicionamento térmico passivo para verão e inverno. Para as Zonas Bioclimáticas 1 e 2, para o inverno, recomenda-se o estudo da forma, escolha da cor externa e correta implantação da edificação, buscando a melhor orientação solar, para otimizar o aquecimento da edificação por meio da radiação solar no período frio. Indica-se o uso de paredes externas leves com transmitância térmica igual ou inferior a 3 W/m².K, atraso térmico igual ou inferior a 4,3 horas e fator solar igual ou inferior a 5%. Indica-se ainda o uso de coberturas leves e isoladas com transmitância térmica igual ou inferior a 2 W/m².K, atraso térmico igual ou inferior a 3,3 horas e fator solar igual ou inferior a 6,5%.

Como estratégia para o frio, recomenda-se o uso de paredes internas pesadas para manutenção do calor da edificação. Estratégias para o verão são indicadas apenas para a Zona Bioclimática 2.

Recomenda-se o uso de ventilação cruzada, por meio de duas janelas ou janela e portas abertas, permitindo a circulação de ar pelo ambiente, atentando-se para a orientação dos ventos predominantes e características do entorno. Indica-se o uso de esquadrias de tamanho médio entre 15% a 25% em relação à área do piso.

2.3.2. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais (RTQ-R)

Diante das preocupações com a crise energética na década de 1970, iniciou-se uma série de conferências internacionais com o objetivo de discutir políticas ambientais e estabelecer metas quanto ao uso racional de energia. Em 1972 ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento Humano de Estocolmo e, vinte anos mais tarde, em 1992, a Conferência no Rio de Janeiro que resultou em um plano de ação global, a Agenda 21. Em 1997, estabeleceu-se o Protocolo de Quioto, um acordo internacional com metas para a redução de emissões de CO2 para a atmosfera em novos edifícios (40%) e em edifícios existentes (15%).

Nesse contexto, teve origem um processo de conscientização a respeito da eficiência energética no mundo e a realização de outras conferências, dentre elas, a de Joanesburgo em 2002 e, em 2012, a Conferência Rio+20, no Rio de Janeiro.

No Brasil, o Inmetro iniciou, em 1984, discussões a respeito da criação de programas avaliativos de conformidade do desempenho da edificação com foco no uso racional de energia que, posteriormente, culminou no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE, 2014).

Em 1985 surge o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e, seis anos após, teve início o Programa Nacional de Conservação de Petróleo e Derivados (CONPET). A Lei nº10.295, aprovada em 2001, firmou a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia com a definição de níveis mínimos de eficiência para máquinas e aparelhos consumidores de energia no país. O Decreto nº4.059 de 2001, regulamentou essa lei e permitiu, em 2010, a instituição do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e, em 2012, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais (RTQ-R).

O RTQ-R (INMETRO, 2012) tem por objetivo a classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética, através da avaliação do desempenho térmico da envoltória e sistema de aquecimento de água. No caso de edificações multifamiliares inclui-se na avaliação o sistema de iluminação artificial, elevadores e bombas centrífugas.

Há dois métodos para avaliação no RTQ-R, o prescritivo e por simulação. O regulamento estabelece requisitos técnicos que devem ser atendidos para obtenção de altos de níveis de eficiência e bonificações, que incentivam, por exemplo, a adoção de medição individualizada de eletricidade e água. A classificação varia do nível A (mais eficiente) ao E (menos eficiente). O desempenho térmico da envoltória refere-se à edificação naturalmente ventilada e, quando condicionada artificialmente, o nível de eficiência é de caráter informativo.

A análise da envoltória passa por requisitos mínimos a serem atendidos para transmitância térmica, capacidade térmica e absortância

solar das paredes externas e coberturas de ambientes de permanência prolongada, de acordo com a Zona Bioclimática (Quadro 3) onde se localiza a edificação. O regulamento também indica percentuais de áreas mínimas de abertura para ventilação, iluminação, proteção solar e, na maioria das Zonas Bioclimáticas, a necessidade de ventilação cruzada. A eficiência da envoltória é avaliada através do indicador de graus-hora para resfriamento e o consumo relativo para aquecimento (kWh/m².ano).

Quadro 3 - Comparativo das Diretrizes Construtivas do RTQ-R:2012 para as Zonas Bioclimáticas 1 e 2.

RTQ-R:2012							
Zona Bioclimática	Paredes		Coberturas		Aberturas		
	Transmitância Térmica (W/m².K)	Capacidade Térmica (kJ/m².K)	Transmitância Térmica (W/m².K)	Capacidade Térmica (kJ/m².K)	Aberturas para Ventilação (A) % da área do piso	Pré-requisitos	Iluminação natural % da área do piso
1	U ≤ 2,50	CT≥ 130	U ≤ 2,30	-	A ≥ 8	-	A ≥ 12,5
2						Ventilação Cruzada	

Fonte: Adaptado pelo autor (INMETRO, 2012)

Quando condicionada artificialmente são avaliados o consumo relativo para refrigeração e/ou para aquecimento. O método por simulação requer o atendimento aos percentuais de área do ambiente para ventilação e iluminação natural. Além disso, há exigências quanto ao software, arquivo climático, condições de modelagem e procedimentos de cálculo e avaliação.

Quanto aos requisitos estabelecidos pelo RTQ-R, a Zona Bioclimática 2 diferencia-se da Zona Bioclimática 1 apenas pela necessidade de ventilação cruzada nos ambientes de longa permanência.

2.3.3. Norma de Desempenho de Edificações Residenciais (NBR 15.575)

Paralelo ao cenário internacional de crise energética, na década de 70, a construção civil brasileira passava por um processo de racionalização, industrialização e surgimento de novos sistemas construtivos. O desamparo de normas relacionadas à qualidade e desempenho da edificação no país, somada à falta de metodologias adequadas para avaliação das novas tecnologias que estavam surgindo, segundo Gonçalves et al. (2003), trouxe consequências desastrosas ao cenário da construção civil nesse período, como o aparecimento de patologias e altos custos de manutenção dos novos sistemas construtivos, principalmente para habitações sociais.

Frente ao insucesso dessas experiências quanto ao emprego de novas tecnologias para construção, a pedido do BNH (Banco Nacional de Habitação, criado em 1964), o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) desenvolveu pesquisas visando a elaboração de critérios para avaliar sistemas construtivos inovadores a partir do conceito de desempenho (IPT, 1981)

Este conceito já vinha sendo tratado internacionalmente desde os anos 1960 e 1970, conforme Mitdieri e Helene (1998), em simpósios envolvendo um esforço conjunto das instituições RILEM (*Reunión Internationale de Laboratoires d`Essais et de recherches sur les Materiaux et constructions*), ASTM (American Society for Testing and Materials), CIB (*Conseil International du Batiment*) e, posteriormente, com a integração da ISO (*International Organization for Standardization*).

Segundo Silva (2009), em 1962, no 2º Congresso do CIB o conceito de desempenho entrou para o cenário da construção civil mundial e evoluiu nos congressos de 1965 e 1968. Em 1970 houve a criação de uma comissão de trabalho intitulada "*The Performance Concept in Building*" e a 1ª reunião em Oslo, na Noruega em 1971. Essas discussões resultaram, na década de 80, em importantes normatizações como as ISO 6240, ISO 6241 e, em 1992, a ISO 7162, que tratam do desempenho da edificação.

Em 1986, com o fim do BNH, houve a desestruturação do sistema de aprovação de tecnologia para uso em projetos habitacionais financiados. A realização de operações de crédito imobiliário, bem como a gestão do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS), foram repassados à Caixa Econômica Federal.

A pesquisa iniciada pelo IPT em 1981 passou por uma revisão em 1997 e apontou os critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social.

A Caixa Econômica Federal, principal agente financiador de habitação popular no país, na tentativa de normatizar a avaliação de sistemas construtivos inovadores, encomendou ao IPT, em 2000, um projeto de pesquisa através do Programa Habitare FINEP (Financiadora de Projetos Especiais). Este projeto fora concebido com o objetivo de desenvolver um conjunto de normas brasileiras para avaliação de edifícios habitacionais, utilizando como princípio fundamental o conceito de desempenho. Desse estudo resultou a Norma Brasileira de Desempenho ABNT NBR 15.575:2013, que foi publicada em maio de 2008 com exigibilidade inicialmente prevista para novembro de 2010. A grande mobilização do setor da construção civil, para alterações de

aspectos da norma, reabriu a comissão de estudos, prorrogando o prazo para março de 2012. A revisão que deveria ter sido concluída em setembro de 2011 e publicada em março de 2012, atendeu novo prazo para consulta pública, teve sua publicação em fevereiro de 2013 e exigibilidade em julho de 2013.

A norma NBR 15.575:2013 (ABNT, 2013) é direcionada às edificações com fins habitacionais e traz exigências quanto ao seu comportamento em uso. Tem como finalidade atender às exigências dos usuários quanto aos aspectos da segurança (desempenho mecânico, segurança contra incêndio, segurança no uso e operação), habitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico, acústico e lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil) e sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental), estabelecendo requisitos mínimos de desempenho (M), intermediário (I) e superior (S).

À semelhança do que acontece em outros países, a norma de desempenho não é prescritiva, ou seja, não estabelece a correta forma de construção ou especifica materiais a serem utilizados. Permite o avanço tecnológico, a pesquisa por novos materiais e baliza a performance e eficiência das soluções empregadas.

A norma estabelece incumbências aos fornecedores, projetistas, construtores e usuário. Cabe aos fornecedores de insumo, material, componente e sistema fornecer resultados comprobatórios do desempenho de seus produtos. Aos projetistas, cabe estabelecer a vida útil projetada (VUP) de cada sistema e especificar materiais, produtos e processos que atendem o desempenho mínimo estabelecido. Ao incorporador cabe a identificação dos riscos previsíveis na época de

projeto, como por exemplo, a presença de aterro sanitário na área de implantação do empreendimento, contaminação do lençol freático, ou outros riscos ambientais. Aos construtores e incorporadores cabe elaborar o manual de operação, uso e manutenção que deve ser entregue ao proprietário e o manual de áreas comuns que deve ser entregue ao condomínio. E finalmente, ao usuário, cabe realizar a manutenção conforme estabelecido na NBR 5674 e manual de operação, uso e manutenção. (CBIC, 2013).

A avaliação térmica, conforme NBR 15.575:2013 (ABNT, 2013), pode ser efetuada por verificação simplificada do atendimento aos requisitos estipulados para cada Zona Bioclimática, por simulação computacional ou por medição in loco da edificação construída ou protótipo. No Quadro 4 são apresentados os parâmetros mínimos a serem atendidos para as Zonas Bioclimáticas 1 e 2.

Quadro 4 - Comparativo das Diretrizes Construtivas da NBR 15.575:2013 para as Zonas Bioclimáticas 1 e 2.

NBR 15.575:2013					
ZB		Paredes		Coberturas	Aberturas
	Nível de Desempenho	Transmitância Térmica (W/m².K)	Capacidade Térmica (kJ/m².K)	Transmitância Térmica (W/m².K)	Aberturas para Ventilação % da área do piso
1 e 2	M (mínimo)	U ≤ 2,5	CT ≥130	U ≤ 2,3	Médias A ≥ 7
	I (intermediário)	Simulação		U ≤ 1,5	
	S (superior)	Simulação		U ≤ 1,0	

Fonte Adaptado pelo autor (ABNT, 2013).

A avaliação simplificada prevê somente o atendimento do nível mínimo de desempenho para paredes. A cobertura poderá ser classificada nos níveis mínimo, intermediário ou superior. As paredes devem possuir transmitância térmica inferior a 2,50 W/m²K e

capacidade térmica superior a 130 kJ/m².K. Para coberturas, a transmitância térmica deve ser inferior a 2,30 W/m²K e não há exigências para capacidade térmica. As aberturas devem ter área efetiva para ventilação superior a 7% da área de piso do ambiente. Não há diferenças de requisitos entre as duas zonas. Caso não atendam aos critérios deve-se realizar verificação por simulação computacional.

A simulação é realizada para o dia típico de inverno e o dia típico de verão, estabelecidos com base na temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar incidente para o dia mais frio e para o dia mais quente do ano respectivamente, segundo a média observada num número representativo de anos.

A edificação deve, como exigência mínima de desempenho no verão, apresentar temperatura interior, sem a presença de fontes internas, menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura exterior. Para o nível de desempenho intermediário, a temperatura interna deve apresentar uma diferença de 2°C e 1°C da temperatura máxima externa para as Zonas 1 a 7 e 8, respectivamente. Para o nível de desempenho superior, deve apresentar uma diferença de 4°C e 2°C da temperatura máxima externa para as Zonas 1 a 7 e 8 respectivamente e 1°C acima da temperatura mínima externa para Zona Bioclimática 8.

Como exigência mínima de desempenho no inverno, para as Zonas Bioclimáticas 1 a 5, a edificação deve apresentar temperatura interior igual ou maior à temperatura mínima externa acrescida de 3°C ao valor máximo diário da temperatura exterior. Para o nível de desempenho intermediário e superior a temperatura mínima interna deve ser acrescida de 5°C e 7°C, respectivamente.

Na simulação computacional deve-se adotar uma taxa de ventilação do ambiente e cobertura de 1 ren/h.

Para a análise de protótipos, recomenda-se que seja considerada a orientação mais crítica do ponto de vista térmico. Para a condição de inverno, apresentar janela do dormitório ou sala de estar voltada para sul e outra parede exposta voltada para leste. Para condição de verão, apresentar janela do dormitório ou sala voltada para oeste e outra parede exposta voltada para norte.

2.4. INDICADOR GRAUS-HORA

O Graus-hora constitui em importante indicador comparativo para verificação do desempenho termo energético da edificação. É determinado pela somatória da diferença da temperatura abaixo da temperatura base, para aquecimento, e acima da temperatura base, para resfriamento. A Equação 1 e a Equação 2 referem-se à determinação do Graus-hora a partir da temperatura horária, para aquecimento e resfriamento, respectivamente. O Graus-dia, por sua vez, é obtido com referência à temperatura média diária.

$$\boldsymbol{GHA} = \sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{8760}} \boldsymbol{Tb} - \boldsymbol{Tint} \quad (\boldsymbol{se}\ \boldsymbol{Tint} < Tb°C) \qquad (\mathbf{1})$$

$$\boldsymbol{GHR} = \sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{8760}} \boldsymbol{Tint} - \boldsymbol{Tb} \quad (se\ \boldsymbol{Tint} > \boldsymbol{Tb}°C) \qquad (\mathbf{2})$$

O RTQ-R utiliza o método Graus-hora para quantificação da necessidade de resfriamento da edificação com base na temperatura de 26°C e alerta para o fato de que a essa temperatura é tida como

referência para comparações, independente do conforto térmico do ambiente. O cálculo é realizado através da temperatura operativa do ambiente (INMETRO, 2012).

A temperatura operativa é considerada a temperatura uniforme de um ambiente radiante negro hipotético, onde um ocupante poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real (ASHRAE, 2002). Em termos práticos, pode ser calculada como sendo o valor médio entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média.

A temperatura de 18°C é a referência para temperatura base de aquecimento adotado por autores como Szokolay (1987), e normas internacionais como a ASHRAE 90.2 (ASHRAE, 2007).

A redução da quantidade de Graus-hora para aquecimento (GHA) representa uma elevação da temperatura interna em relação à temperatura base e sugere uma redução da necessidade de aquecimento da edificação. Por sua vez, a redução da quantidade de Graus-hora para resfriamento (GHR) representa uma redução da temperatura interna e sugere um redução da necessidade de resfriamento da edificação.

2.5. O USO DE ISOLAMENTO TÉRMICO NA EDIFICAÇÃO

O aquecimento solar da edificação, através de uma boa orientação das janelas, pode garantir melhores condições de conforto térmico em períodos frios do ano. Essa estratégia pode ser conjugada com outras duas: o uso de inércia térmica, ou seja, a adoção de paredes pesadas para manter o ganho de calor, e o uso de isolamento térmico que pode reduzir as perdas de calor interno.

O uso de isolamento térmico é bastante conhecido em países de climas frios e Diretivas Europeias continuamente têm estipulado valores cada vez mais restritivos no intuito da obtenção de edificações mais eficientes energeticamente.

Para climas temperados, no entanto, tanto o uso de inércia térmica quanto o uso de isolamento térmico ainda levantam questões, principalmente devido à possibilidade de superaquecimento no verão.

Autores como Frota e Schiffer (1988) apontam que a adoção de inércia térmica pode trazer desvantagens em dias mais quentes caso não haja adequada dissipação do calor armazenado durante o dia, gerando um sobreaquecimento da edificação. Conforme Jelle et al. (2010), edifícios altamente isolados, mesmo em climas frios, podem experimentar longos períodos de superaquecimento.

Papst (1999) estudou o uso de inércia térmica no clima subtropical e verificou que ela pode ser combinada com o isolamento térmico na parede, no lado externo, obtendo bons resultados quando conjugado com o isolamento na cobertura. Além disso, a edificação deve ter um bom gerenciamento quanto à ventilação, com a abertura das janelas no verão apenas quando a temperatura interna for superior à externa e, no inverno, quando a temperatura externa for superior à interna.

Chvatal e Rossi (2011) estudaram a aplicação de isolamento térmico em edifícios comerciais em três cidades do Brasil com diferentes características climáticas, Curitiba, São Paulo e Manaus. Os resultados demostraram, para a cidade de Curitiba (a mais fria), que o consumo de energia de aquecimento reduziu quando o nível de isolamento da envoltória foi aumentado. No entanto, nesse caso, o

consumo de energia de arrefecimento aumentou, devido à elevação das temperaturas. Os melhores resultados foram obtidos com o uso de ventilação natural eficaz no período não-ocupado, reduzindo o impacto negativo encontrado. Os resultados encontrados em edificações comerciais podem apresentar comportamento térmico distinto de edificações residenciais em razão de apresentarem, entre outros aspectos, carga térmica e padrão de uso diferenciados.

Para evitar o superaquecimento, Feist et al. (2005) apontam a necessidade de que a edificação apresente um sistema de proteção solar e, no verão, o uso de ventilação noturna.

O uso do isolamento térmico em edificações, em climas mais quentes, portanto, deve ser conjugada com outras estratégias, como por exemplo, o uso de brises e ventilação, que possam, em dias mais quentes, através do controle do usuário, impedir a elevação da temperatura interna da edificação.

Conforme Akutsu e Vittorino (1990), o uso de isolamento térmico na cobertura tende a reduzir os valores máximos e aumentar os valores mínimos de temperatura no verão. No inverno, contudo, há possibilidade de que os valores máximos de temperatura sejam aumentados, dependendo da intensidade de radiação solar e orientação das janelas. Conforme os mesmos autores, o posicionamento do isolante pode interferir nas condições de conforto, sendo mais favorável posicioná-lo na face externa da parede, pois quando aplicado na face interna, pode ocorrer maior elevação das temperaturas no verão e não atingir as mesmas condições no inverno se comparado ao posicionamento externo.

Segundo Yilmaz (2007), o isolamento térmico é uma estratégia mais indicada para o clima temperado ao invés do uso de massa térmica, mais indicado para o clima quente e seco.

O uso de isolamento térmico não é comumente utilizado em construções brasileiras. No entanto, conforme já apresentado, o clima da região Sul brasileira assemelha-se ao encontrado em parte da região Sul dos Estados Unidos, onde as normativas, ANSI/ASHRAE Standard 90.2 (ASHRAE, 2007) e International Energy Conservation Code (ICC, 2012), apresentam-se mais restritivas quanto aos níveis de isolamento da edificação.

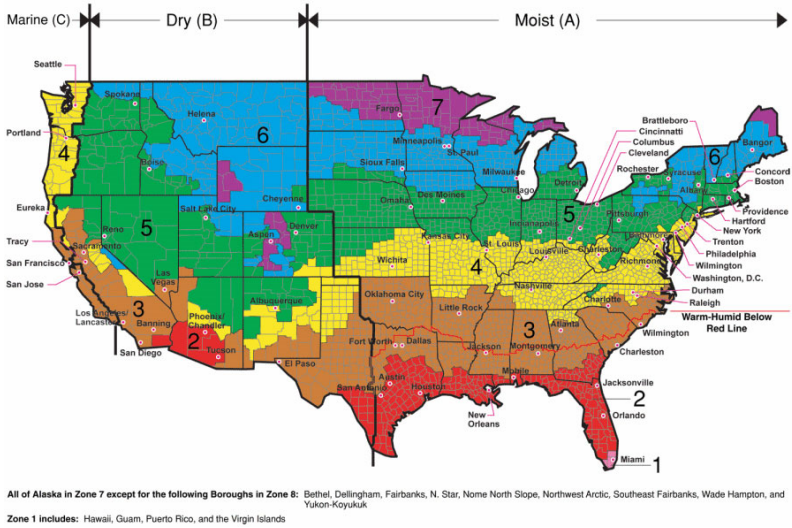
Ainda mais restritivo é o padrão alemão *Passivehaus*, largamente difundido em climas frios da Europa, que sugere um envelope construtivo bastante isolado e estanque. Estudos (SCHNIEDERS et al., 2012; TUBELO et al., 2013) têm sido realizados para verificar sua aplicabilidade do padrão em países mais quentes, incluso o Brasil.

Ainda que pouco difundido entre as construções brasileiras, as pesquisas indicam benefícios no uso do isolamento térmico e o estudo de normatizações internacionais são fundamentais à compreensão de sua aplicabilidade.

2.5.1. ANSI/ASHRAE Standard 90.2:2007 e ICC/IECC:2012

A Ashrae 90.2 (ASHRAE, 2007), normatização americana na área de eficiência energética para edificações residenciais até três pavimentos, define requisitos mínimos para o envelope construtivo, equipamentos e sistemas de condicionamento, aquecimento de água e alternativas estratégicas de desenho da edificação.

Figura 15 - Mapa do Zoneamento Climático estabelecidos pela ASHRAE 90.2.



Fonte: (ASHRAE, 2007 p.21)

Quadro 5 - Classificação do Zoneamento Climático conforme ASHRAE 90.2.

Zona	Nome	Critério Térmico
1	Muito Quente - Úmido (1A), Seco (1B)	5000<GDR10°C
2	Quente - Úmido (2A), Seco (2B)	3500<GDR10°C≤5000
3A e 3B	Pouco Quente - Úmido (3A), Seco (3B)	2500<GDR10°C≤3500
3C	Pouco Quente - Marino	GDR10°C≤2500 e GDA18°C≤2000
4A e 4B	Misto - Úmido (4A), Seco (4B)	GDR10°C≤2500 e 2000<GDA18°C≤3000
4C	Misto - Marino (4C)	2000<GDA18°C≤3000
5A, 5B e 5C	Frio - Úmido (5A), Seco (5B), Marino (5C)	3000<GDA18°C≤4000
6A e 6B	Frio - Úmido (6A), Seco (6B)	4000<GDA18°C≤5000
7	Muito Frio	5000<GDA18°C≤7000
8	Subártico	7000<GDA18°C

Fonte: (ASHRAE, 2007 p.115)

Há três métodos para avaliação: prescritivo, simulação de desempenho e custo anual energético. Os requisitos devem ser atendidos conforme zoneamento climático (Figura 15) classificados com referência à quantidade de Graus-dia (Quadro 5) para aquecimento com

base na temperatura de 18°C (GDA18), e resfriamento com base na temperatura de 10°C (GDR10). São 8 zonas, sendo a zona 1 a mais quente e a 8 a mais fria. A aplicação da temperatura de 10°C para o dimensionamento do quantitativo de Graus-dia para resfriamento refere-se, unicamente, à classificação para o zoneamento climático e não corresponde a uma referência para o estabelecimento de conforto térmico.

A norma também estabelece o zoneamento climático internacional contemplando cidades do Brasil. Há classificações entre 1 e 2 para regiões mais quentes e amenas, respectivamente (Quadro 6).

Quadro 6 - Classificação da Zona Climática para cidades brasileiras conforme ASHRAE 90.2

Cidade	Zona Climática conforme Ashrae 90.2 (2007)
Belém	1
Brasília	2
Fortaleza	1
Porto Alegre	2
Recife / Curado	1
Rio de Janeiro	1
Salvador / Ondina	1
São Paulo	2

Fonte: (ASHRAE, 2007 p. 29).

A classificação, contudo, não contempla cidades mais frias encontradas no sul do país que, conforme Quadro 7, apresentam GDR10 inferior a 3500°Cd e portanto teriam classificação 3, segundo os critérios térmicos da ASHRAE 90.2 (ASHRAE, 2007), contidos no Quadro 5.

Cidades como São Joaquim/SC, Gramado/RS e Curitiba/PR apresentam valores de Graus-dia para resfriamento, com base na temperatura 10°C, inferiores a 2500, e cidades como Passo Fundo/RS e Santa Maria/RS apresentam valores entre 2500 e 3500.

Quadro 7 - Graus-dia para Aquecimento com base na temperatura de 18°C (65°F) e Resfriamento com base na temperatura de 10°C (50°F) - Ano de Referência 2013.

LOCALIDADE	ESTAÇÃO	GDA18	GDR10	ZONA*
São Joaquim, SC	ISANTACA6	1138	1996	3C
Gramado, RS	IRIOGRAN11	1074	2196	3C
Curitiba, PR	SBCT	853	2403	3C
Passo Fundo, RS	SBPF	741	2812	3A
Santa Maria, RS	83936	629	3458	3A

*Classificação a partir dos critérios térmicos definidos pela ASHRAE (2007 p.115)

Fonte: DegreeDays.net (2014), adaptado pelo autor.

Conforme Quadro 7, as cidades mais frias, encontradas nas Zonas Bioclimáticas 1 e 2, apresentam correspondência, a partir da classificação climática estabelecida pela ASHRAE 90.2 (Quadro 5), com a Zona Climática Internacional 3.

Além da ASHRAE 90.2 há outra normatização americana, a IECC:2012 (ICC, 2012), que regula requisitos de eficiência energética de edificações novas, residenciais e comerciais. A classificação climática internacional é a mesma estabelecida pela ASHRAE 90.2, contudo estabelece requisitos mais restritivos.

No Quadro 8 é apresentado um comparativo entre a regulamentação em eficiência energética brasileira e as americanas, dos requisitos de transmitâncias térmicas para parede, telhado e piso e fator solar do vidro.

Os requisitos para o RTQ-R referem-se aos limites mínimos de atendimento às Zonas Bioclimáticas Brasileiras 1 e 2, enquanto que para a ASHRAE 90.2 e a IECC:2012 referem-se às Zonas Climáticas internacionais 2 e 3 e trazem os limites máximos para transmitância térmica e fator solar do vidro.

Enquanto a normatização americana ASHRAE 90.2 estabelece a transmitância térmica máxima para parede de 1,48 W/m²K para as Zonas Climáticas 2 e 3, a normatização brasileira estabelece o valor

mínimo de 2,50 W/m²K para as Zonas Bioclimáticas brasileiras 1 e 2. A normatização IECC:2012, por sua vez, estabelece a transmitância máxima para a parede de 1,12 W/m²K para a Zona Climática 1, 0,94 W/m²K para a Zona Climática 2 e 0,56 W/m²K para a 3.

Quadro 8 - Comparativo dos limites de transmitância térmica dos componentes construtivos e fator solar do vidro conforme normas RTQ-R: 2012 para Zona Bioclimática Brasileira 1 e 2 ANSI/ASHRAE Standard 90.2-2007 e ICC/IECC - 2012 para as Zonas Bioclimáticas Internacionais 2 e 3.

Parâmetros	RTQ-R	ASHRAE 90.2	IECC
Transmitância térmica da parede - U (W/m^2 K)	≤ 2,50	1,48	0,94 (2); 0,56 (3)
Transmitância térmica do telhado - U (W/m^2 K)	≤ 2,30	0,20	0,17 (2,3)
Transmitância térmica do piso - U (W/m^2 K)	-	-	0,36 (2); 0,20 (3)
Fator solar do vidro - FS	0,87	0,40	0,25

Fonte: Adaptado pelo autor (INMETRO, 2012), (ASHRAE, 2007) e ICC (2012).

Embora o RTQ-R estimule obtenção de níveis mais altos de eficiência energética, o fato das normatizações brasileiras não estabelecerem limites máximos para atendimento quanto à transmitância térmica dos componentes da edificação, contribuem para dúvidas quanto ao uso de isolamento térmico indicados por normativas internacionais e ainda mais restritivas como o padrão *Passivehaus* em edificações residenciais.

2.5.2. *Passivehaus*

Conforme Gonçalves e Brotas (2007), a norma *Passivehaus* surgiu da experiência de Wolfgang Feist e Bo Adamson, no início da década de 90, com a aplicação de um método de desenho passivo para

residências na Alemanha, com objetivo de obter alta eficiência energética a um custo aceitável.

Fundamentalmente, a norma traz como requisitos um limite de consumo de energia e a adoção de um conjunto de sistemas passivos para qualidade em conforto térmico da edificação. Estas residências se caracterizam por apresentar elevados níveis de isolamento em paredes e janelas, incluindo proteção de pontes térmicas, baixa infiltração de ar e sistema de ventilação com eficiente sistema de recuperação de calor.

Em países como Áustria, Bélgica, Suíça e Suécia, além da própria Alemanha, a norma *Passivehaus* é bastante difundida. Atualmente, diversos estudos têm sido realizados para verificar a aplicação em outros países. O projeto *Passive-On*, financiado pelo Programa IEE da Comissão Europeia, analisa a aplicabilidade do padrão *Passivehaus* em países do sul da Europa (Portugal, Espanha e Itália), como também países com climas temperados, como é o caso do Reino Unido e França. Estes países apresentam necessidades de aquecimento inferiores aos países nórdicos da Europa.

A norma alemã traz cinco principais critérios para a edificação:

1. O consumo para aquecimento não pode exceder o limite de 15 kWh por m² por ano de área útil;
2. O consumo de energia primária com o aquecimento de água e equipamentos elétricos não pode exceder 120kWh por m² por ano de área útil;
3. A estanqueidade do ar deve atender a norma EN 13829, (CEN, 2001) não superior a 0,6 trocas/h;

4. A temperatura operativa dos ambientes deve ser mantida acima de 20°C no inverno;
5. O consumo energético deve ser calculado pelo PHPP (*Passive House Planning Package*) relativo às áreas úteis.

A norma *Passivehaus* para climas quentes da Europa, contudo, teve alterações em alguns critérios: além do limite de consumo energético para aquecimento, foi incluído o limite de consumo energético para resfriamento de 15kWh por m² por ano de área útil, conforme Quadro 9; mantido o limite de consumo de energia primária de 120kWh por m² por ano de área útil; para a estanqueidade do ar, se houver sistema mecânico, a envolvente do edifícios deve cumprir o teste de pressurização de 50 Pa, conforme norma EN 13829 (CEN, 2001) e, o limite de 1,0 trocas/h é suficiente para atender o critério de aquecimento em localizações onde as condições de projeto possuírem temperaturas acima de 0°C ; a temperatura operativa deve ser mantida acima de 20°C no inverno e no verão dentro da faixa estabelecida pela norma EN 15251 (2007) de 22°C a 27°C. Caso haja sistema de arrefecimento ativo, a temperatura operativa deve ser mantida abaixo de 26°C no verão (GONÇALVES E BROTAS, 2007).

Quadro 9 - Critérios e Limites estabelecidos pela Norma *Passivehaus* para climas quentes da Europa.

Critérios	**Limites**
Consumo anual para aquecimento	15 kWh/(m²ano)
Pico de carga para aquecimento	10 W/m²
Consumo anual para resfriamento	15 kWh/(m²ano)
Consumo de energia primária	120 kWh/(m²ano)
Taxa de infiltração (Estanqueidade do ar)	≤ 0,6 ACH50 (ACH50 = Trocas de ar por hora na pressão de 50Pa)

Fonte: (Gonçalves e Brotas, 2007)

Há ainda poucas as pesquisas quanto à aplicabilidade da norma *Passivehaus* em países sul americanos. Schnieders et al. (2012) realizou uma pesquisa da aplicação da noma *Passivehaus* em diferentes climas do mundo, incluindo o Brasil. O estudo sugeriu para a região Sul valores bastante baixos para transmitância de elementos opacos entre 0,30 e 0,40W/m²K e adoção de vidro duplo com baixa emissividade. Tubelo et al. (2014) realizaram uma revisão comparativa entre o RTQ-R e o padrão *Passivehaus* alemão. Conforme os autores, o estudo faz parte de uma pesquisa em curso que investiga os potenciais benefícios da adoção de isolamento em fachadas e maior controle da infiltração de ar em residências brasileiras.

3. METODOLOGIA

3.1. INTRODUÇÃO

Adotou-se como metodologia a simulação computacional do comportamento térmico de uma edificação residencial unifamiliar em cidades de clima temperado, Zonas Bioclimáticas 1 e 2, localizadas no sul do Brasil.

O estudo foi conduzido em quatro etapas:

1. Caracterização das cidades;
2. Definição do Caso Base;
3. Análise do balanço térmico;
4. Análise da alteração de parâmetros da envoltória.

A simulação computacional foi realizada através do software Energyplus, versão 8.1 U.S. Department of Energy (2014). O software permite analisar o desempenho termo energético de uma edificação em um determinado clima. A modelagem da edificação foi realizada a partir do software Sketchup Pro, versão 13.0.4812 Trimble Navigation Limited (2014) e com o auxílio do plugin OpenStudio, versão 1.0.11 U.S. Department of Energy (2014).

Como indicador para análise das alterações de parâmetros da envoltória utilizou-se o Método Graus-Hora.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DAS CIDADES DE ESTUDO

Realizou-se a escolha de cidades representativas do clima temperado encontradas na região Sul do Brasil conforme os seguintes critérios: pertencer a relação de 330 cidades brasileiras que tiveram os climas classificados em Zonas Bioclimáticas pela NBR 15220-3

(ABNT, 2005); serem representativas das Zonas Bioclimáticas 1 e 2; localizarem-se na região Sul do Brasil; possuir dados climáticos em formato de arquivo EPW (EnergyPlus Weather), adotado pelo software de simulação termo energética de edificações EnergyPlus U.S. Department of Energy (2014), pertencentes ao registro em 411 estações climatológicas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) que tiveram recente revisão RORIZ (2012a).

Dentre as 13 cidades que atenderam os critérios estabelecidos, escolheu-se três: uma cidade representativa do extremo frio encontrado no país e outras duas cidades representativas da Zona Bioclimática 1 e 2 por apresentarem a maior população. O Apêndice A apresenta os dados referente ao método da escolha das cidades.

As três cidades escolhidas foram São Joaquim, localizada no estado de Santa Catarina, Curitiba, no estado do Paraná e Santa Maria no estado do Rio Grande do Sul (Figura 16). O Quadro 10 apresenta os dados da localização geográfica, temperaturas e a quantidade anual de graus-hora para aquecimento com base na temperatura 18°C e resfriamento (ou arrefecimento) com base na temperatura 23°C.

Figura 16 - Cidades escolhidas para estudo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 10 - Dados de localização geográfica e de temperatura das cidades escolhidas para estudo.

Cidade / Estado	Latitude / Longitude e Altitude	Temp. Mín. Anual (°C)	Temp. Méd. Anual (°C)	Temp. Máx. Anual (°C)	GHA18*	GHR23*
São Joaquim/SC	28.28S/ 49.93W/ 1410m	-4,1	13,2	26,5	45055	113
Curitiba/PR	25.43S/ 49.27W/ 924.0m	-0,1	17,3	31,7	19294	2531
Santa Maria/RS	29.68S/ 53.81W/ 95.0m	-0,2	18,9	38,3	18164	8584

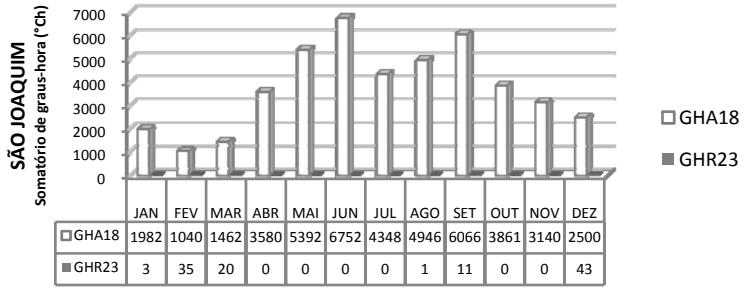
Fonte: Elaborado pelo autor.
*Dados do arquivo EPW RORIZ (2012a).

A cidade de São Joaquim, localizada na Zona Bioclimática 1, é uma das cidades mais frias do país, decorrente, principalmente, de sua grande altitude (1410 m). Curitiba e Santa Maria são cidades pertencentes às Zonas Bioclimáticas 1 e 2, respectivamente, conforme definição pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005). Dentre as 3 cidades escolhidas, Santa Maria é a que apresenta registros de temperaturas mais altas.

A Figura 17 apresenta o registro mensal da quantidade de Graus-hora para aquecimento e resfriamento da cidade de São Joaquim, com base na temperatura 18°C e 23°C, respectivamente. Observa-se a baixa quantidade de Graus-hora para resfriamento durante todo o ano e Graus-hora para aquecimento não inferiores a 1000, sendo o maior registro, de 6752, no mês de Junho.

A Figura 18 apresenta os dados mensais da cidade de Curitiba. Verifica-se que os valores mensais de Graus-hora para resfriamento são iguais ou inferiores a 461 e os maiores registros de Graus-hora para aquecimento são verificados nos meses de maio a setembro com valores acima 2500 e inferiores a 3500.

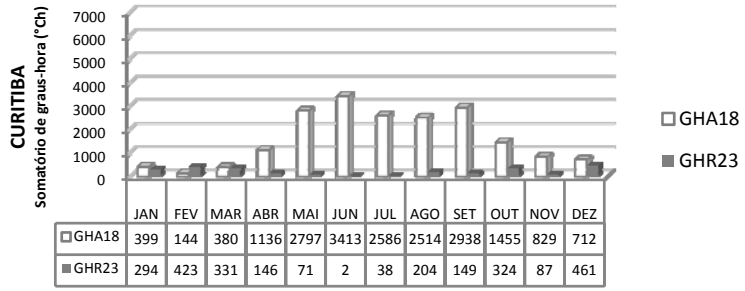
Figura 17 - Graus-hora para aquecimento e resfriamento para os meses do ano da cidade de São Joaquim.



	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
GHA18	1982	1040	1462	3580	5392	6752	4348	4946	6066	3861	3140	2500
GHR23	3	35	20	0	0	0	0	1	11	0	0	43

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do arquivo climático EPW.

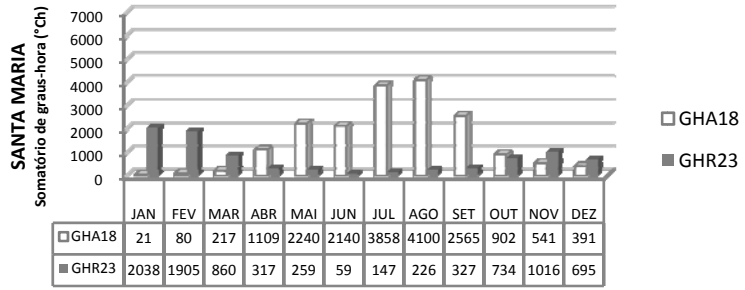
Figura 18 - Graus-hora para aquecimento e resfriamento para os meses do ano da cidade de Curitiba.



	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
GHA18	399	144	380	1136	2797	3413	2586	2514	2938	1455	829	712
GHR23	294	423	331	146	71	2	38	204	149	324	87	461

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do arquivo climático EPW.

Figura 19 - Graus-hora para aquecimento e resfriamento para os meses do ano da cidade de Santa Maria.



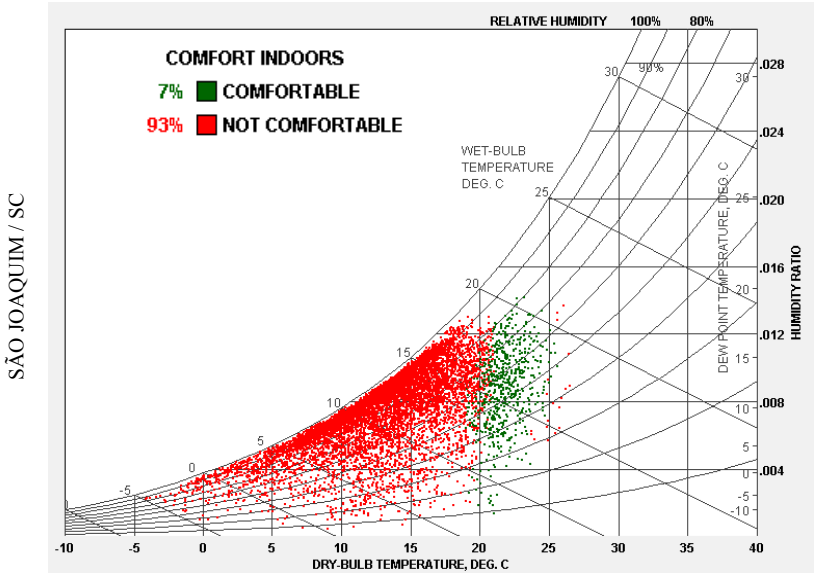
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
GHA18	21	80	217	1109	2240	2140	3858	4100	2565	902	541	391
GHR23	2038	1905	860	317	259	59	147	226	327	734	1016	695

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do arquivo climático EPW.

Para a cidade de Santa Maria (Figura 19), os valores de Graus-hora para resfriamento são em torno de 2000 nos meses de janeiro e fevereiro. Nos meses de julho e agosto, os valores de Graus-hora para aquecimento ultrapassam 3800, sendo maiores do que aqueles registrados para a cidade de Curitiba. Santa Maria apresenta 5 meses de frio (maio a setembro), 2 meses de calor (janeiro e fevereiro), e os demais meses de clima ameno.

A seguir são apresentadas as Cartas Bioclimáticas plotadas a partir do software Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2014) para as cidades de São Joaquim (Figura 20), Curitiba (Figura 21), e Santa Maria (Figura 22), com os registros de temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido (respectivamente representadas pelas linhas retas e inclinadas nos gráficos) e umidade relativa (linhas curvas) ao longo do ano.

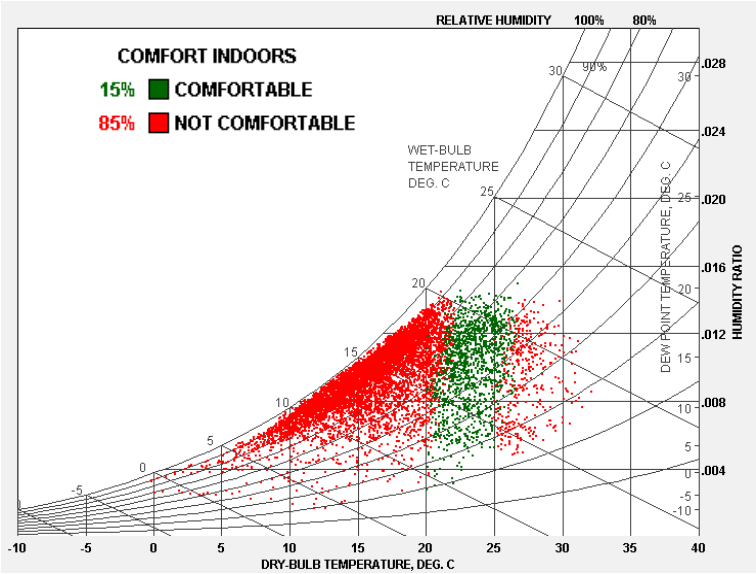
Figura 20 - Carta Bioclimática da cidade de São Joaquim.



Fonte: Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2014) e arquivo EPW RORIZ (2012a).

Figura 21 - Carta Bioclimática da cidade de Curitiba.

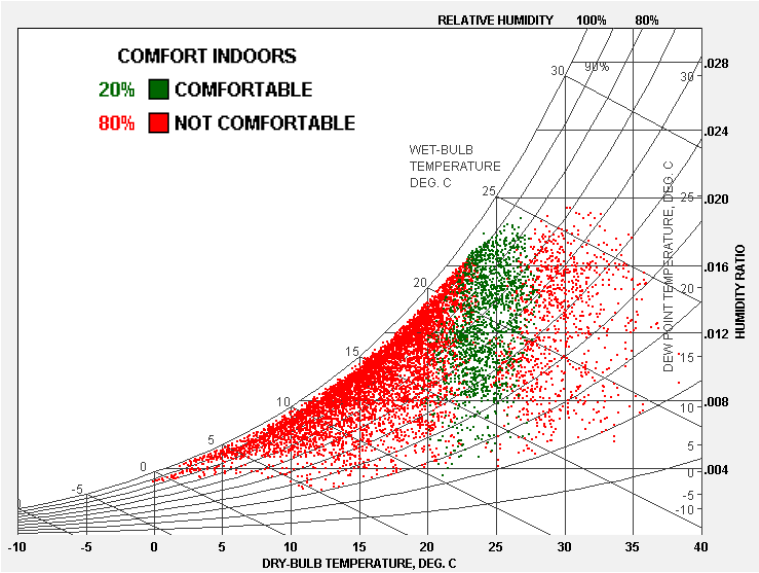
CURITIBA / PR



Fonte: Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2014) e arquivo EPW RORIZ (2012a)

Figura 22 - Carta Bioclimática das cidade de Santa Maria.

SANTA MARIA / RS



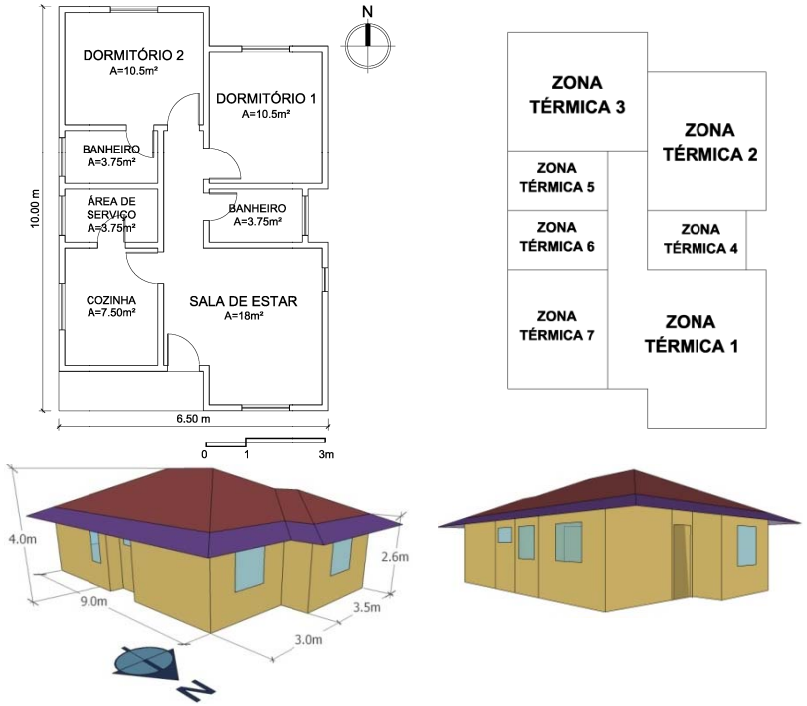
Fonte: Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2014) e arquivo EPW RORIZ (2012a)

Verifica-se nos gráficos pontos plotados em verde que correspondem as horas em conforto pelo Modelo Adaptativo da ASHRAE 55-2010 com 90% de aceitabilidade. Os demais pontos, em vermelho, constituem as horas em desconforto. Observa-se na Carta Bioclimática de São Joaquim poucos registros de temperaturas acima de 25°C e grande quantidade de registros em temperaturas mais baixas e umidade relativa variada. Na Carta Bioclimática de Curitiba há uma concentração de pontos na faixa de temperatura entre 10°C a 25°C e alta umidade. Na Carta Bioclimática de Santa Maria, ainda que apresente grande quantidade de registros de temperaturas baixas, há também registros de temperaturas altas entre 25°C e 35°C e umidade relativa do ar variada. Esses gráficos indicam, portanto, a predominância de desconforto por frio para as três cidades escolhidas e a necessidade de que sejam incorporados no projeto da edificação a aplicação de estratégias passivas direcionadas ao aquecimento dos ambientes. As cidades apresentam, contudo, cenários distintos quanto à necessidade de resfriamento da edificação. Esse fato coloca em questão a sensibilidade no uso das estratégias recomendadas para o frio.

3.3. DEFINIÇÃO DO CASO BASE E PARÂMETROS DE ENTRADA DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A edificação projetada para este estudo é uma residência unifamiliar (Figura 23) com 57,75m², possui dois dormitórios, dois banheiros, sala, cozinha e área de serviço. Apresenta paredes em bloco cerâmico rebocado, laje em concreto no piso e na cobertura, manta isolante em espuma de polietileno expandido e poliéster metalizado sobre a estrutura de madeira e telha cerâmica.

Figura 23 - Planta baixa, Definição das zonas térmicas e Perspectivas do Caso Base.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Quadro 11 apresenta os dados dos ambientes de longa permanência (dormitórios e sala de estar) que foram analisados, e o Quadro 12, dados de transmitância e capacidade térmica e refletância dos componentes construtivos e o fator solar do vidro. Detalhes construtivos podem ser encontrados no Apêndice B.

Quadro 11 - Dados dos ambientes de longa permanência do Caso Base.

Zona Térmica	Ambiente	Área [m²]	Volume [m³]	Área da Janela [m²]	Relação entre Área de Janela e Piso - A
1	Sala de Estar	18,0	46,8	2,16	12%
2	Dormitório 1	10,5	27,3	1,44	14%
3	Dormitório 2	10,5	27,3	1,44	14%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 12 - Dados de transmitância térmica, refletância e FS dos componentes construtivos do Caso Base.

	Construção	Transmitância Térmica U [W/m².K]	Capacidade Térmica CT [kJ/m².K]	Refletância
Caso Base	Parede	2.38	154	0.50
	Piso	4.04	360	0.50
	Telhado	1.78	378	0.70
			Fator Solar	
	Vidro	5.89	0.86	

Fonte: Elaborado pelo autor.

A edificação atende aos requisitos estabelecidos pelas normativas brasileiras na área de desempenho térmico de edificações para as Zonas Bioclimáticas 1 e 2.

Para a simulação computacional os ambientes foram divididos em Zonas Térmicas. A sala de estar corresponde à Zona Térmica 1 e os dormitórios correspondem às Zona Térmicas 2 e 3. A cobertura se constitui em um ático, em razão da existência de laje. O telhado possui inclinação de 30% e os beirais apresentam 80cm.

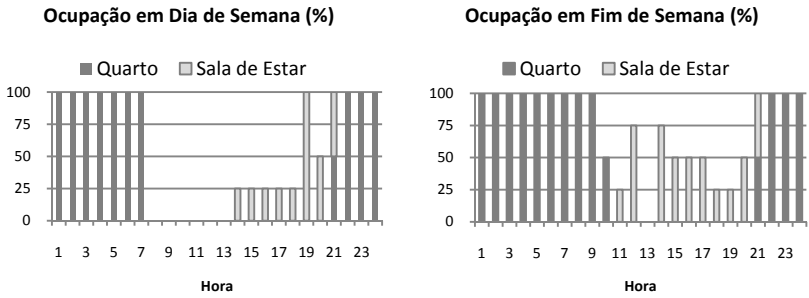
Os dormitórios foram dispostos no quadrante norte com o intuito de buscar melhores resultados, partindo de um modelo com orientação solar adequada. Conforme Curcio (2011) uma adequada orientação dos ambientes de permanência prolongada proporciona melhor desempenho no inverno e também um bom desempenho no verão.

Dentre as normativas relativas ao conforto térmico, o Regulamento Técnico de Qualidade para Edificações Residenciais - RTQ-R (INMETRO, 2012) apresenta com detalhes os parâmetros de entrada para simulação computacional. Desta forma, adotou-se estes parâmetros a fim de futuras comparações.

O padrão construtivo atende às especificações e requisitos do RTQ-R (INMETRO, 2012), para as Zonas Bioclimáticas 1 e 2 (ABNT, 2005), assim como o padrão de ocupação (Figura 24) e o padrão de uso

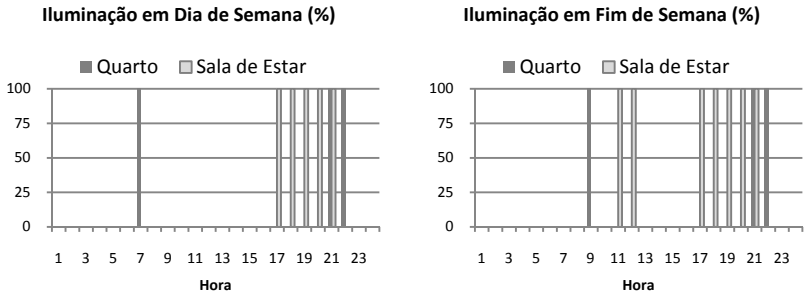
da iluminação artificial (Figura 25) para simulação computacional de ambientes de longa permanência.

Figura 24 - Padrão de ocupação para Dia de Semana e Fim de Semana.



Fonte: Adaptado pelo autor de Quadro 3.39 do RTQ-R (INMETRO, 2012 p.69)

Figura 25 - Padrão de iluminação para Dia de Semana e Fim de Semana.



Fonte: Adaptado pelo autor de Tabela 3.41 do RTQ-R (INMETRO, 2012 p.71)

Conforme recomendações do RTQ-R (INMETRO, 2012), para taxas metabólicas (Quadro 13) foram utilizados valores de acordo com o tipo de atividade desempenhada em cada ambiente. No ambiente da sala, para atividade sentada, considerou-se o calor produzido de 60 W/m² de área de pele, 108W no total. Nos dormitórios, para atividade de descanso, considerou-se 45 W/m² de área de pele, sendo 81W no total (1,80m² de área de pele).

Quadro 13 - Taxas metabólicas para cada atividade.

Ambiente	Atividade realizada	Calor produzido (W/m²)	Calor produzido para área de pele = 1,80 m² (W)
Sala	Sentado ou assistindo TV	60	108
Dormitórios	Dormindo ou descansando	45	81

Fonte: Tabela 3.40 do RTQ-R (INMETRO, 2012 p.70)

Para a iluminação, o RTQ-R (INMETRO, 2012) considera como densidade de potência instalada 5 W/m² para dormitórios e 6 W/m² para sala (Quadro 14). Foram consideradas cargas internas de equipamentos somente para o ambiente da sala por um período de 24 horas e potência de 1,5 W/m² (Quadro 15).

Quadro 14 - Densidade de potência instalada de iluminação.

Ambiente	DPI (W/m²)
Dormitórios	5,0
Sala	6,0

Fonte: Tabela 3.42 do RTQ-R (INMETRO, 2012 p.71)

Quadro 15 - Cargas internas de equipamentos.

Ambiente	Período	Potência (W/m²)
Sala	24h	1,5

Fonte: Tabela 3.43 do RTQ-R (INMETRO, 2012 p.72)

O padrão de ventilação da edificação foi modelado conforme as especificações do RTQ-R (INMETRO, 2012). Foi adotado o padrão de ventilação seletiva que permite abrir as janelas quando a temperatura do ar interno é superior a uma determinada temperatura. Para o presente estudo, adotou-se para esse limite a temperatura de 20°C e quando a temperatura interna for superior à temperatura externa (Tint ≥ Text).

O Quadro 16 traz especificações de coeficientes de rugosidade do entorno, pressão superficial, descarga e fluxo de ar por frestas.

Quadro 16 - Especificações do padrão de ventilação.

Coeficiente de rugosidade do entorno*	0,33
Coeficiente de descarga das janelas*	0,60
Coeficiente do fluxo de ar por frestas	0,001 kg/s.m
Expoente do fluxo de ar*	0,65
Padrão de uso	Controle automático por temperatura (Tint > 20 e Tint > Text).

*Adimensional

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto à temperatura do solo, utilizou-se por recomendação do RTQ-R, o programa Slab, vinculado ao programa EnergyPlus, que calcula a temperatura média do solo para cada mês do ano com base nos valores médios de temperaturas internas e externas da edificação, para o clima escolhido (INMETRO, 2012 p.72). O Quadro 17 traz as temperaturas do solo definidas no arquivo climático EPW, a temperatura calculada pelo programa Slab e o comparativo com a temperatura externa média do mês.

Quadro 17 - Temperatura Média do Solo das cidades escolhidas.

	São Joaquim			Curitiba			Santa Maria		
	Temp. Solo EPW (°C)	**Temp. Solo Slab (°C)**	**Temp. Med. Ext. (°C)**	**Temp. Solo EPW (°C)**	**Temp. Solo Slab (°C)**	**Temp. Med. Ext. (°C)**	**Temp. Solo EPW (°C)**	**Temp. Solo Slab (°C)**	**Temp. Med. Ext. (°C)**
Jan	17,2	19,4	16,0	20,6	20,0	19,6	23,8	20,8	24,9
Fev	16,4	19,2	17,5	19,9	19,8	20,9	24,2	20,5	24,8
Mar	15,0	18,3	16,8	18,7	18,9	19,9	23,3	19,3	22,2
Abr	13,6	17,1	13,3	17,6	17,8	17,8	22,0	18,0	18,6
Mai	11,0	15,0	10,9	15,5	15,7	15,0	18,6	16,0	16,5
Jun	9,6	13,6	8,6	14,3	14,5	13,6	16,0	14,7	15,6
Jul	9,2	13,4	12,2	14.1	14,2	15,4	14,3	14,1	13,6
Ago	10,0	13,8	11,5	14.6	14,6	15,7	13,8	14,5	13,4
Set	11,6	14,7	9,8	16.0	15,5	14,6	14,8	15,6	15,9
Out	13,6	16,1	13,0	17.6	17,0	17,6	16,9	17,3	19,8
Nov	15,6	17,7	13,8	19.2	18,5	18,0	19,6	19,0	21,3
Dez	16,9	18,9	15,4	20.29	19,6	19,4	22,1	20,1	21,2

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4. MÉTODO PARA ANÁLISE DO BALANÇO TÉRMICO

O método do balanço térmico permite analisar os ganhos e as perdas de calor através da envoltória identificando as fontes principais. Dessa forma, é possível verificar os componentes da edificação cujas alterações provocam maior influência na manutenção do equilíbrio térmico e das condições de conforto nos ambientes.

Para a análise proposta, foram utilizados os dados da simulação térmica do Caso Base fornecidos pelo programa EnergyPlus em relatórios horários com os registros de fluxo de calor entre as superfícies e a temperatura interna da zona térmica estudada, além de ganhos de calor com ocupação, sistema de iluminação e equipamentos.

A análise foi realizada na Zona Térmica 2 que corresponde ao Dormitório 1 da edificação em estudo (ver Figura 23). Foram analisados o dia com registro da temperatura mais baixa para a semana típica de inverno e o dia com o registro de temperatura mais alta para a semana típica de verão, para cada uma das cidades. O arquivo EPW elaborado por Roriz (2012a) conta no cabeçalho com a definição da semana típica para as diferentes estações do ano. Conforme consta no arquivo EPW, a semana típica caracteriza-se por apresentar a temperatura média mais próxima da temperatura média do período analisado, nesse caso as estações de inverno e verão.

O Quadro 18 mostra os dias das semanas típicas de inverno e verão. As datas escolhidas para análise estão representadas em negrito e sublinhadas. Desconsiderados os finais de semana (em fundo cinza), que apresentam padrão de ocupação diferenciado, essas datas apresentam os registros de menor temperatura na semana típica de inverno e maior temperatura na semana típica de verão.

Quadro 18 - Semanas típicas de inverno e verão para as cidades selecionadas.

São Joaquim/SC		Curitiba/PR		Santa Maria/RS	
Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão
20/07	10/02	29/06	03/02	22/07	**22/01**
21/07	11/02	30/06	04/02	23/07	23/01
22/07	12/02	01/07	05/02	24/07	24/01
23/07	13/02	02/07	06/02	**25/07**	25/01
24/05	**14/02**	03/07	07/02	26/07	26/01
25/07	15/02	**04/07**	08/02	27/07	27/01
26/07	16/02	05/07	**09/02**	28/07	28/01

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do arquivo climático EPW RORIZ (2012a).

Com os resultados da análise do balanço térmico e identificadas as principais fontes de ganhos e perdas de calor, foram conduzidas as alterações dos parâmetros da envoltória no Caso Base.

Os gráficos foram apresentados de duas maneiras: fluxos horários ao longo do dia para cada uma das datas escolhidas, e fluxo total por componente da edificação para a cidade mais fria, no período de inverno e cidade mais quente, no período do verão.

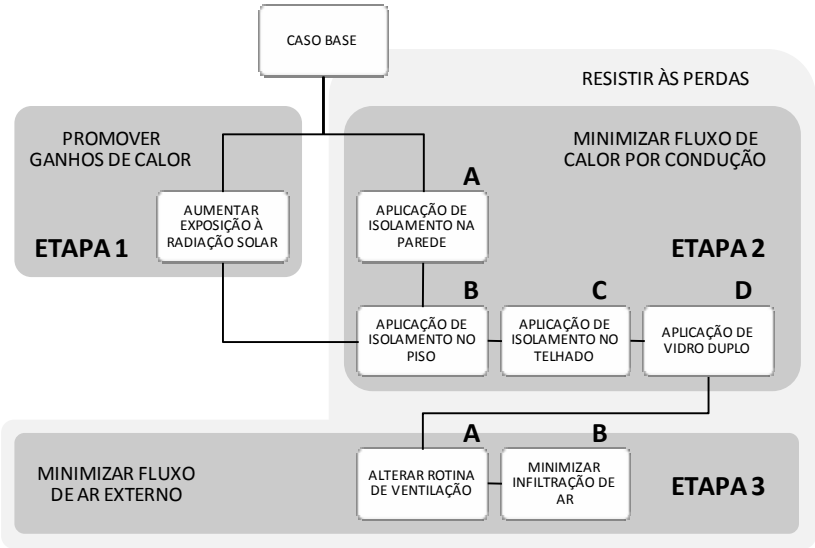
3.5. PROCEDIMENTOS PARA A ANÁLISE DA ALTERAÇÃO DOS PARÂMETROS DA ENVOLTÓRIA

Alterações de parâmetros da envoltória do Caso Base, observados os resultados da análise do balanço térmico, foram realizados no intuito de verificar a aplicação de estratégias de conforto da edificação comumente adotadas para climas frios e o impacto nos meses mais quentes de cidades localizadas em clima temperado.

A partir do Caso Base, realizou-se alterações na envoltória da edificação com base nas estratégias de controle climático, já apresentadas na pág. 33 (Figura 4), estabelecidas por Watson e Labs (1983) para inverno. A Figura 26 apresenta o fluxograma de alterações realizadas. As estratégias apontam para minimização do desconforto por

frio: a necessidade do envelope da edificação promover ganhos de calor através da radiação solar e, resistir às perdas, através da minimização dos fluxos de calor por condução e fluxo de ar externo por convecção. Adotou-se o fluxograma para fins de apresentação das etapas desenvolvidas no estudo e não corresponde a uma sequência metodológica necessária a aplicação das estratégias.

Figura 26 - Fluxograma das estratégias para minimização do desconforto por frio, conforme estratégias de controle climático por Watson e Labs (1983).



Fonte: Elaborado pelo autor.

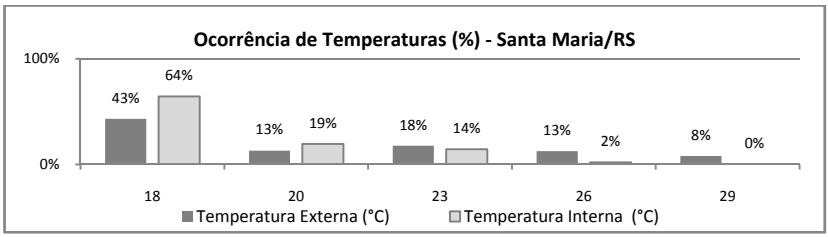
Realizou-se, primeiramente, alterações no sentido de proporcionar uma maior promoção de ganho de radiação solar pelas esquadrias. Na sequência, aplicou-se isolamento térmico nas paredes externas, piso e telhado. Ao final, realizou-se a aplicação de vidro duplo e alterações no fluxo de ar externo na edificação.

3.6. MÉTODO GRAUS-HORA

Por tratar-se de um clima temperado, as soluções adequadas para o frio podem gerar desconforto por calor nos meses mais quentes. Desta maneira, a cada alteração realizada no modelo analisou-se o comportamento da temperatura interna da edificação através do método Graus-hora.

O RTQ-R define a temperatura de 26°C como base para o análise do consumo para resfriamento da edificação. Contudo, em uma avaliação (Figura 27), dos registros de temperatura interna ao longo do ano do Caso Base para a cidade de Santa Maria, a qual apresenta as temperaturas mais altas dentre as cidades escolhidas, identificou-se que o uso da temperatura base de 23°C apresentaria uma maior sensibilidade às alterações realizadas na edificação.

Figura 27 - Ocorrência de temperaturas externas e internas para a cidade de Santa Maria.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse estudo, adotou-se a temperatura base para aquecimento em 18°C e para resfriamento em 23°C. Essas temperaturas não se constituem em parâmetro de conforto, tratam-se apenas de referências para quantificar as alterações por meio do método Graus-hora. As temperaturas internas (Ti) horárias adotadas foram as operativas, conforme orientação do RTQ-R (INMETRO, 2012).

4. RESULTADOS

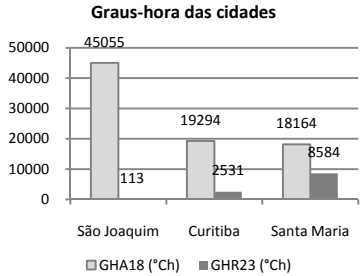
A seguir são apresentados, para cada uma das cidades definidas na metodologia, os resultados das simulações computacionais do Caso Base e dos casos com alterações realizadas na envoltória da edificação que objetivaram sua otimização, avaliando os impactos no índice de Graus-hora para aquecimento e resfriamento.

4.1. CASO BASE

A partir dos gráficos gerados com os dados das simulações do Caso Base, de uma maneira geral, realizando a comparação dos registros de graus-hora das temperaturas externas de cada cidade (Figura 28) e internas da edificação (Figura 29 à Figura 31), constata-se uma redução de aproximadamente 50% em relação à quantidade de Graus-hora, sugerindo uma redução significativa da necessidade de aquecimento e resfriamento dos ambientes, promovida pela envoltória da edificação.

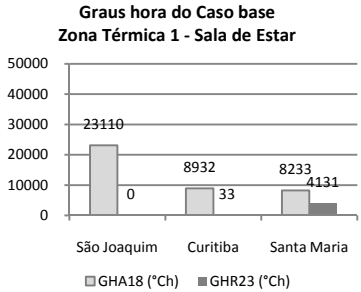
A cidade de São Joaquim apresentou o maior registro de Graus-hora para aquecimento com base na temperatura de 18°C (GHA18). A edificação (Caso Base) permitiu uma redução de 45.055°Ch para 23.110°Ch na Zona Térmica 1, 20.457°Ch na Zona Térmica 2 e 20.825°Ch na Zona Térmica 3. Na cidade de Santa Maria, que apresentou o maior registro de Graus-hora para resfriamento com base na temperatura de 23°C (GHR23), houve redução de 8.584°Ch para 4.131°Ch, 4.357°Ch e 4.307°Ch, avaliando a temperatura interna da edificação, nas Zonas Térmicas 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 28 - Quantidade anual de Graus-hora de aquecimento e resfriamento para as cidades de São Joaquim, Curitiba e Santa Maria, com referência à temperatura externa.



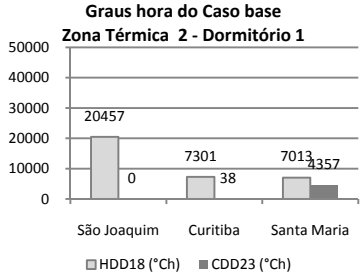
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 29 - Quantidade anual de Graus-hora de aquecimento e resfriamento para a Sala de Estar nas cidades de São Joaquim, Curitiba e Santa Maria.



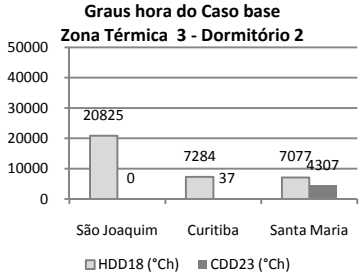
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 30 - Quantidade anual de Graus-hora de aquecimento e resfriamento para a Dormitório 1 nas cidades de São Joaquim, Curitiba e Santa Maria.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 31 - Quantidade anual de Graus-hora de aquecimento e resfriamento para a Dormitório 2 nas cidades de São Joaquim, Curitiba e Santa Maria.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A cidade de São Joaquim difere substancialmente das demais quanto à necessidade de aquecimento da edificação. Curitiba e Santa Maria apresentam condições semelhantes quanto à necessidade de aquecimento e diferenciam-se pela quantidade de graus-hora com a necessidade de resfriamento, sendo maior para a última.

Quanto aos ambientes analisados, os dormitórios (Zona Térmica 2 e 3) possuem orientação solar mais favorável (norte) e,

comparativamente ao ambiente da Sala de Estar (Zona Térmica 1) com orientação solar sul, apresentaram menor necessidade de aquecimento.

4.2. BALANÇO TÉRMICO

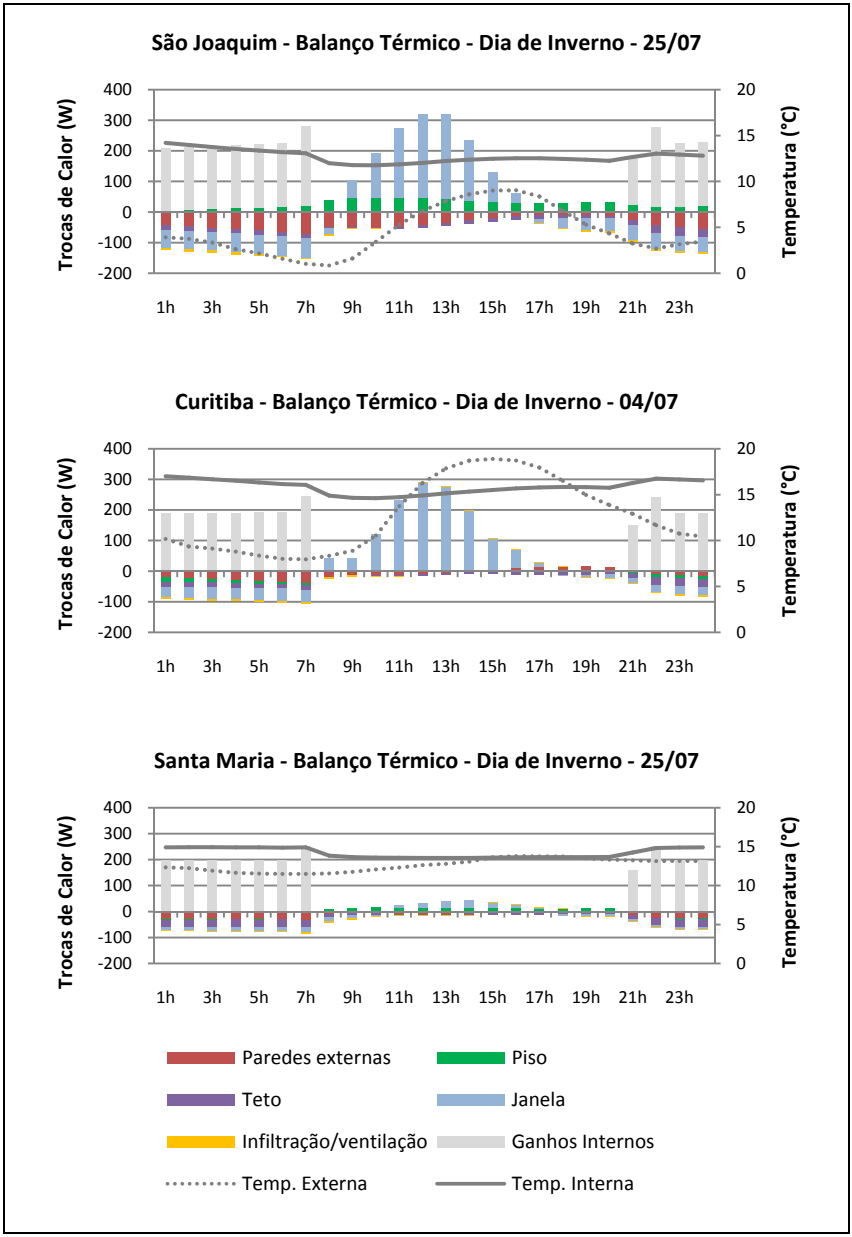
A partir do cálculo do balanço térmico da edificação é possível identificar os componentes da edificação que apresentam perdas ou ganhos de calor e melhor estabelecer as estratégias.

O balanço térmico foi realizado para o dia com registro da temperatura mais baixa da semana típica de inverno e o dia com o registro da maior temperatura na semana típica de verão (Quadro 18). Em razão das semelhanças encontradas nos registros de Graus-hora na análise das Zonas Térmicas do Caso Base, optou-se pela realização da análise de apenas um ambiente de permanência prolongada.

O ambiente analisado foi o dormitório 1 (Zona Térmica 2) que possui orientação da janela ao norte e parede cega à leste. Os gráficos da Figura 32 e da Figura 34 apresentam dois eixos verticais com o registro das trocas de calor no lado esquerdo e as temperaturas externa e interna no lado direito. Desta maneira, é possível verificar o impacto das trocas de calor na temperatura interna da edificação.

Verifica-se no gráfico do balanço térmico para o dia 25/07 (Figura 32), da cidade de São Joaquim, que os maiores ganhos da envoltória são através da janela e piso. As maiores perdas foram registradas pelas paredes externas durante todo o dia, e pelas janelas durante à noite. Para a data em questão, a temperatura externa apresentou valores mais baixos no início da manhã, em torno de 1°C, e máxima em torno de 9°C no período da tarde. A temperatura interna da edificação manteve-se entre 12°C e 14°C ao longo do dia.

Figura 32 - Balanço térmico da semana típica de inverno para as cidades de São Joaquim, Curitiba e Santa Maria.

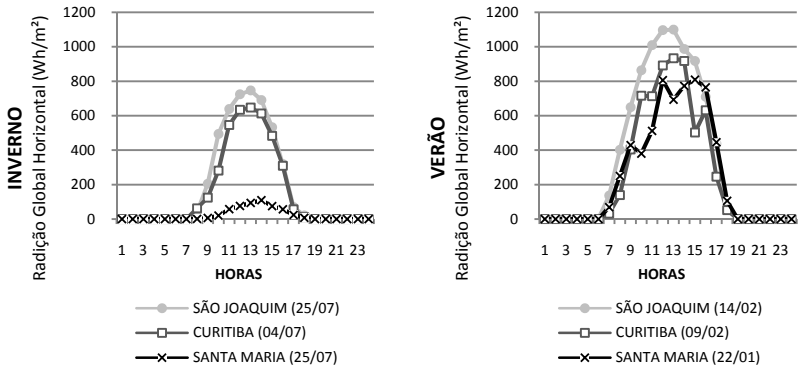


Fonte: Elaborado pelo autor.

No caso de Curitiba, no dia 04/07 os ganhos de calor da envoltória deram-se essencialmente pela janela. As menores perdas de calor ocorreram tanto pelo piso quanto pelas paredes, diferentemente de São Joaquim. Isso decorre principalmente em razão das temperaturas terem sido maiores, alcançando em Curitiba, no período da noite, mínima de 8°C, e máxima, no período da tarde, em torno de 18°C. Embora a temperatura externa tenha alcançado ao longo do dia uma amplitude de 10°C, a temperatura interna esteve entre 15°C e 17°C.

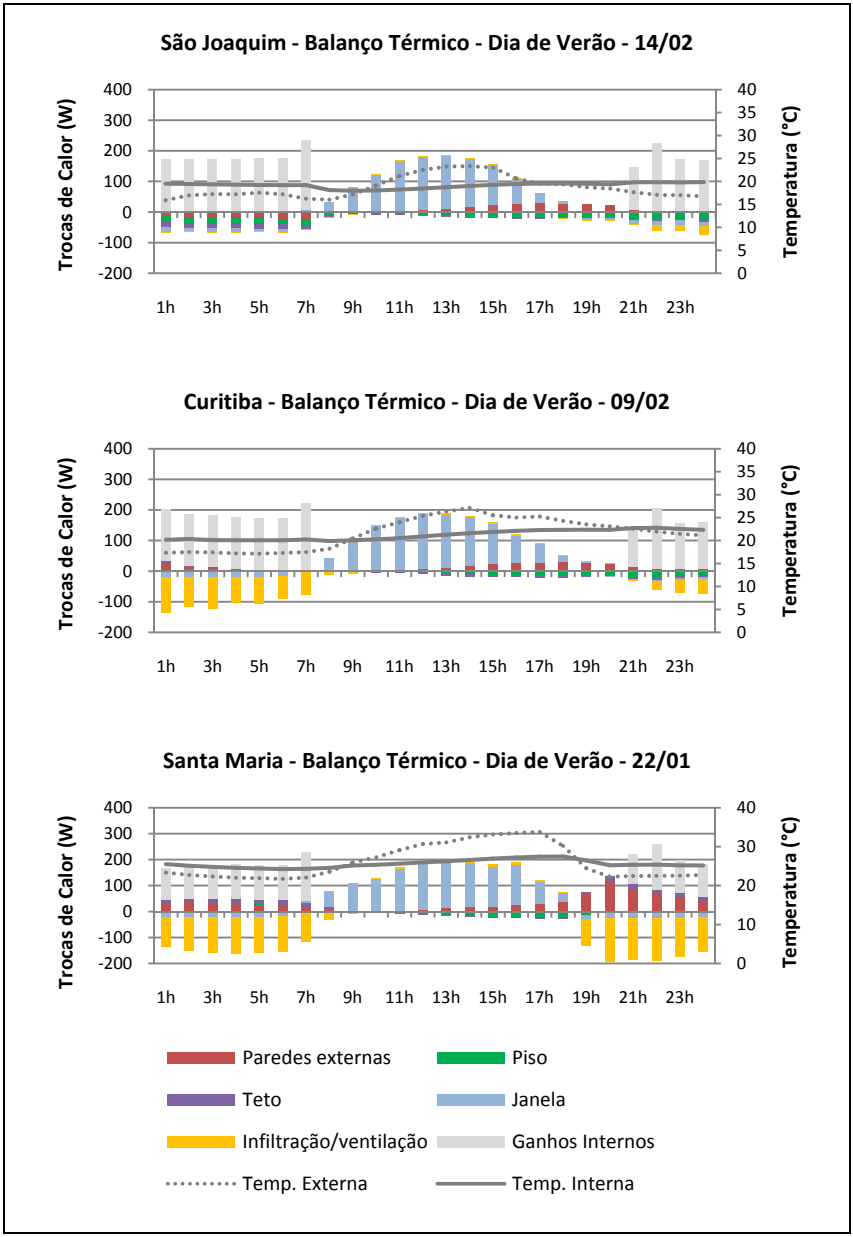
A data analisada, do dia 25/07, em Santa Maria, não apresentou grande amplitude térmica ao longo do dia, ficando a temperatura interna em torno de 15°C. Essa característica foi observada em outros quatro dias da semana típica de inverno (Apêndice C). Verifica-se, a partir da Figura 33, que esse dia apresentou-se nublado em razão da pouca quantidade de radiação solar registrada. Portanto, não houveram ganhos significativos de calor pela envoltória e as perdas ocorreram, principalmente, pelas paredes e em pequena parcela pelo teto e janela.

Figura 33 - Radiação Global Horizontal para dias da semana típica de inverno e verão para as cidades de São Joaquim, Curitiba e Santa Maria.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 34 - Balanço térmico da semana típica de verão para as cidades de São Joaquim, Curitiba e Santa Maria.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para um dia de semana típica de verão da cidade de São Joaquim (Figura 34), dia 14/02, verifica-se que os maiores ganhos da envoltória são através da janela e as maiores perdas pelas paredes. A temperatura externa apresentou variação entre 11°C e 22°C, enquanto que a temperatura interna manteve-se na faixa entre 17°C e 20°C.

Na cidade de Curitiba, no dia 09/02, houveram ganhos de calor principalmente pela janela e perdas por infiltração/ventilação. A temperatura externa teve variação entre 17°C e 27°C e a temperatura interna manteve-se próximo de 21°C.

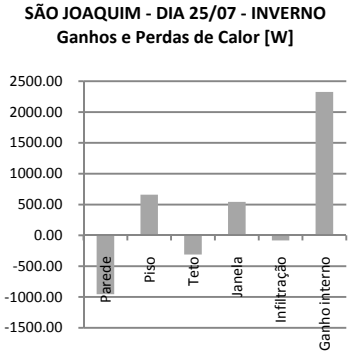
Santa Maria, a cidade mais quente, no dia 22/01 apresentou ganho de calor significativo pelas paredes e janela, e perdas essencialmente por infiltração/ventilação. A temperatura externa apresentou-se entre 22°C e 33°C e a interna entre 24°C e 27°C.

A ventilação ocorrida no período da noite, modelada para ocorrer quando a temperatura do ar do ambiente fosse superior à temperatura externa (Tint ≥ Text), colaborou no equilíbrio das temperaturas no verão, nas cidades de Curitiba e Santa Maria. A rotina de ventilação modelada representa, de modo virtualmente ideal, a operação das janelas desconsiderando questões relativas à segurança e privacidade.

A Figura 35 e Figura 36 ilustram o balanço térmico das cidades mais fria, São Joaquim, e mais quente, Santa Maria, deste estudo e evidenciam os ganhos e perdas de calor pelos componentes da edificação.

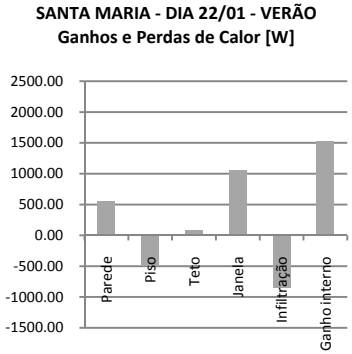
Diferentemente dos gráficos anteriores que demonstram os valores das trocas de calor ao longo do dia, nestes gráficos são registrados os valores totais do dia.

Figura 35 - Balanço Térmico para um dia da semana típica de inverno para a cidade de São Joaquim.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 36 - Balanço Térmico para um dia da semana típica de verão para cidade de Santa Maria.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse estudo, os ganhos internos referem-se ao calor sensível provindo da ocupação, e do total de iluminação e equipamentos. Com exceção a esses ganhos, contata-se nos gráficos a influência da janela como componente da edificação por onde provém o maior ganho de calor, principalmente no verão. Enquanto parede e teto registraram perdas e ganhos de calor ao ambiente, respectivamente, no inverno e verão, o piso apresentou propriedade inversa, registrando ganhos de calor ao ambiente no inverno e perdas no verão.

A partir dos resultados do balanço térmico é possível verificar indicações de alterações passíveis de serem executadas na envoltória da edificação. Para a cidade mais fria, São Joaquim, verificou-se que intervenções principalmente nas paredes poderiam reduzir perdas de calor registradas no inverno. Aliado a isso, outra solução seria maximizar o ganho de calor pelas janelas, já que a temperatura no inverno apresentou-se baixa. Para o caso de Santa Maria, a cidade mais quente, alterações na transmitância térmica das paredes, no vidro, a

promoção de ventilação e a proteção solar poderiam reduzir os ganhos de calor no verão. Ainda que o isolamento térmico do piso não tenha apresentado recomendação a partir das análises do balanço térmico, em razão desse já registrar ganhos de calor no inverno e perdas no verão, esse estudo foi realizado para verificar maiores benefícios para o inverno e dimensionar os impactos negativos de sua aplicação no verão.

4.3. ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES DOS PARÂMETROS DA ENVOLTÓRIA

Foram analisadas neste estudo a aplicação de estratégias recomendadas somente para o frio, como a promoção de ganho de calor por radiação, redução de fluxo de calor por condução e minimização do fluxo de ar externo.

4.3.1. Promoção de Ganho de Calor por Radiação (Etapa 1)

Com base no fluxograma apresentado na Metodologia (Figura 26), na Etapa 1 foram realizadas alterações no modelo do Caso Base com o objetivo de aumentar o ganho de calor com a maior exposição dos ambientes à radiação solar por meio das esquadrias. Para isso, realizou-se quatro ampliações das janelas consecutivas e uma alteração no telhado do Dormitório 2. As alterações nas janelas estão registradas no Quadro 19, onde são apresentadas a área e respectiva percentagem em relação à área do piso do ambiente de cada zona térmica avaliada e o Quadro 20 ilustra as imagens das alterações no modelo.

Quadro 19 - Dados do Caso Base e Alterações 1, 2, 3 e 4.

	Zona Térmica 1 Sala de Estar		Zona Térmica 2 Dormitório 1		Zona Térmica 3 Dormitório 2	
Modelo	Área da Janela		Área da Janela		Área da Janela	
	[m²]	[% piso]	[m²]	[% piso]	[m²]	[% piso]
Caso Base	2,16	12	1,44	14	1,44	14
ALT 1	2,16	12	2,16	21	2,16	21
ALT 2	2,16	12	2,88	27	2,88	27
ALT 3	2,16	12	3,60	34	3,60	34
ALT 4	2,16	12	4,32	41	4,32	41

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 20 - Alterações na área de janela realizadas nos estudos de caso.

Caso Base			
Alteração 1		**Alteração 2**	
Alteração 3		**Alteração 4**	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na primeira alteração realizou-se o aumento em 50% na área de janela dos dormitórios com a inserção de janela na orientação leste para o Dormitório 1, e orientação oeste para o Dormitório 2. A opção por criar aberturas em outra orientação solar, além da já existente, possibilitou aos ambientes uma exposição à radiação por um período de tempo maior.

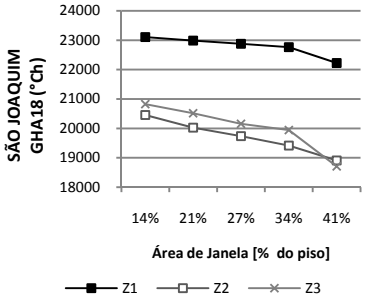
Na segunda alteração, realizou-se o aumento em 50% na área de janela com orientação norte dos dormitórios, mantendo a alteração anterior. Essa ampliação correspondeu em um aumento de 15% para 28% em relação à área de parede.

Na terceira, houve um aumento em 50% na área de janela na orientação leste e oeste nos respectivos dormitórios 1 e 2, preservando as alterações anteriores.

Na quarta e última alteração, realizou-se mais um aumento de 50% na área de janela na orientação leste para o dormitório 1 e oeste no dormitório 2. Na Sala de Estar foi retirada a janela com orientação sul e ampliada a esquadria com orientação leste, mantendo, contudo, a relação de 12% de área de esquadria por área de piso do ambiente. Realizou-se ainda uma alteração de desenho no telhado do Dormitório 2 reduzindo a proteção solar do beiral e ampliando a incidência de radiação solar.

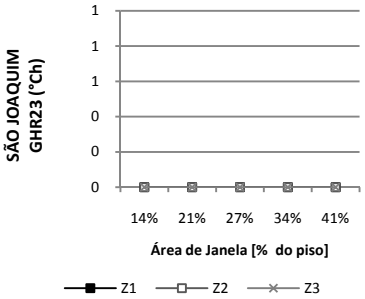
Os gráficos da Figura 37 e da Figura 42 mostram os resultados para o aumento do ganho de calor com a radiação solar e o impacto na necessidade de aquecimento e resfriamento para as três cidades. Os eixos verticais registram a quantidade de Graus-hora de aquecimento com base na temperatura de 18°C (GHA18) ou resfriamento com base na temperatura de 23°C (GHR23) da edificação. Os eixos horizontais correspondem às alterações de maior exposição dos ambientes à radiação solar por meio das esquadrias. Os resultados das simulações são representados pelas linhas, correspondentes a cada uma das Zonas Térmicas avaliadas: Z1 (sala de estar), Z2 (dormitório 1) e Z3 (Dormitório 2). É importante observar que os gráficos apresentam diferentes escalas em razão das cidades apresentarem diferentes necessidades de aquecimento e resfriamento.

Figura 37 - Gráfico GHA18 da Etapa 1 para a cidade de São Joaquim.



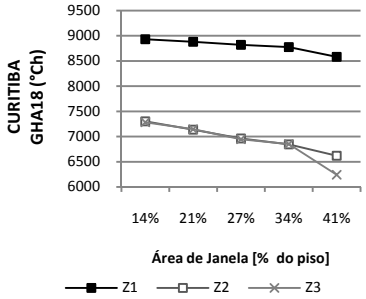
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 38 - Gráfico GHR23 da Etapa 1 para a cidade de São Joaquim.



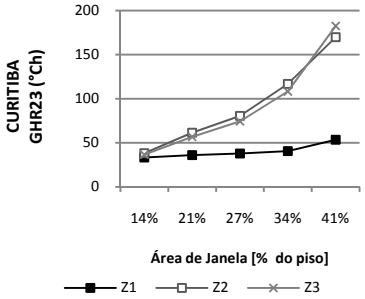
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 39 - Gráfico GHA18 da Etapa 1 para a cidade de Curitiba.



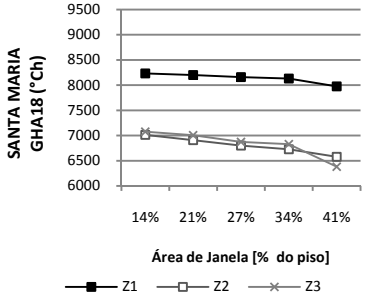
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 40 - Gráfico GHR23 da Etapa 1 para a cidade de Curitiba.



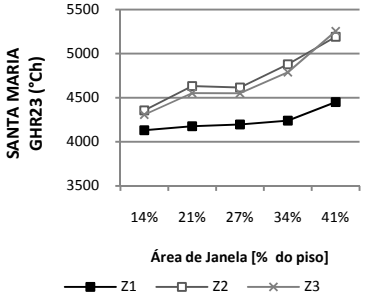
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 41 - Gráfico GHA18 da Etapa 1 para a cidade de Santa Maria.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 42 - Gráfico GHR23 da Etapa 1 para a cidade de Santa Maria.

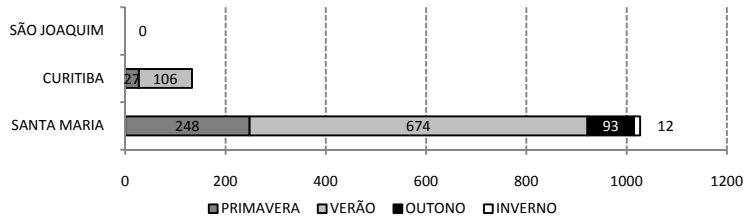


Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados demonstraram uma redução nos valores de Graus-hora para aquecimento nos ambientes analisados nas três cidades estudadas (Figura 37, Figura 39 e Figura 41) e um aumento dos valores de Graus-hora para resfriamento nas cidades de Curitiba e Santa Maria (Figura 40 e Figura 42). Ainda que tenha ocorrido um aumento dos valores de Graus-hora para resfriamento para a cidade de Curitiba, estes apresentaram-se baixos e os benefícios à redução dos valores de Graus-hora para aquecimento compensam a adoção dessa estratégia. A cidade de Santa Maria foi a que apresentou o aumento mais significativo dos valores de Graus-hora para resfriamento. Sendo assim, para esse estudo, a solução do aumento da área de janela, desprovida de proteção solar, para a cidade de Santa Maria não foi benéfica. Verificou-se ainda que para a Zona Térmica 3 (Dormitório 2) a alteração do telhado trouxe uma maior redução, comparativamente às demais Zonas, no registro de Graus-hora para aquecimento, em razão da maior incidência de radiação solar.

A Figura 43 apresenta as ocorrências de sobreaquecimento superiores a 0,5°C ao longo do ano comparada as temperaturas do Caso Base e o caso com a maior ampliação de área de janela para as três cidades estudadas. Considerou-se às temperaturas superiores a 23°C.

Figura 43 - Número de ocorrências de sobreaquecimento com temperaturas superiores à 0,5°C.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em Santa Maria foram quantificadas durante o ano 1027 horas de temperaturas com sobreaquecimento e a elevação máxima de temperatura foi de 1,41°C. O verão apresentou 66% das ocorrências, primavera 24%, outono 9% e inverno apenas 1%. Para a cidade de Curitiba, pertencente à Zona Bioclimática 1, a elevação de temperatura máxima ocorrida foi de 1,27°C e quantificadas durante o ano apenas 232 horas de temperaturas com sobreaquecimento acima de 0,50°C para as temperaturas acima de 23°C, com 85% das ocorrências no verão e 15% na primavera. A cidade de São Joaquim não apresentou sobreaquecimento.

Esta estratégia trouxe consequência de elevação da temperatura interna para a cidade de Santa Maria, influenciando no conforto térmico da edificação, principalmente, no verão.

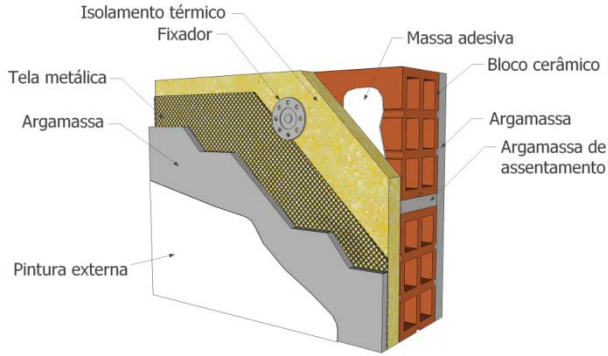
4.3.2. Redução do Fluxo de Calor por Condução (Etapa 2)

4.3.2.1. Aplicação de Isolamento Térmico nas Paredes (Etapa 2A)

Outra estratégia apontada no fluxograma, na Etapa 2 (Figura 26), diz respeito à necessidade do envelope da edificação resistir às perdas de calor. Neste sentido, realizou-se a aplicação de isolamento térmico nas paredes externas tanto no modelo do Caso Base quanto nos modelos com área de janelas alteradas.

A Figura 44 demonstra o sistema de fixação do isolante adotado em países da Europa (EA-ETICS, 2015). As placas são fixadas na alvenaria por meio de uma massa adesiva (cola) e/ou fixadores âncora (prego em polipropileno com bucha de expansão). O revestimento externo é aplicado sobre malha de fibra de vidro ou metálica.

Figura 44 - Sistema Composto de Isolamento Térmico Externo



Fonte: Adaptado pelo autor. ETICS - External Thermal Insulation Composite System (EA-ETICS, 2015).

No Quadro 21 apresenta-se as alterações nos valores de transmitância térmica com a aplicação de isolamento na face exterior da parede, com espessuras variadas de lã de rocha. Detalhes construtivos podem ser encontrados no Apêndice B.

Quadro 21 - Alterações na transmitância térmica da parede. Elaborado pelo autor.

Modelo	Tipo de Parede	Transmitância Térmica da Parede [W/m²K]	Capacidade Térmica CT [kJ/m²K]
Caso Base	Tijolo Cerâmico (9x14x24cm)	2,38	154
ALT 1	Tijolo Cerâmico + isolamento térmico* e=25mm	1,02	156
ALT 2	Tijolo Cerâmico + isolamento térmico* e=50mm	0,65	158
ALT 3	Tijolo Cerâmico + isolamento térmico* e=100mm	0,38	162

* Aplicação na face exterior

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Caso Base apresenta, para as paredes de alvenaria (15cm) sem isolamento, a transmitância térmica de 2,38 W/m²K, que atende ao

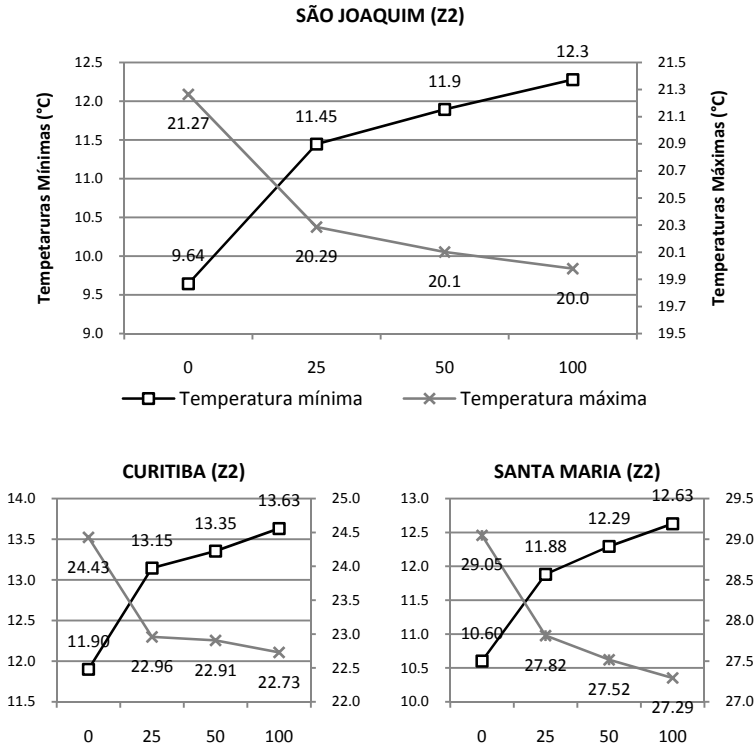
limite estabelecido para as Zonas Bioclimáticas Brasileiras 1 e 2, de 2,50 W/m²K. Com a aplicação de isolante de 25mm, o valor de transmitância passou para 1,02 W/m²K. A aplicação de isolante de 50mm e 100mm reduziu o valor de transmitância térmica da parede para 0,65 W/m²K e 0,38 W/m²K, respectivamente.

Nos gráficos a seguir apresentam-se os registros de temperaturas internas mínimas e máximas anuais da Zona Térmica 2 (Dormitório 1) após a aplicação de isolamento térmico nas paredes. A linha de temperatura mínima relaciona-se com os dados do eixo vertical primário (lado esquerdo) e a linha de temperatura máxima relaciona-se com os dados do eixo vertical secundário (lado direito). Os eixos horizontais indicam alterações nas espessuras do isolante térmico (0, 25, 50 e 100mm).

A Figura 45 mostra, como resultados da simulação, um aumento das temperaturas mínimas e uma redução das temperaturas máximas para as três cidades. São Joaquim apresentou um aumento da temperatura mínima de 2,6°C e uma redução da temperatura máxima de 1,3°C. Já as cidades de Curitiba e Santa Maria apresentaram um aumento de temperatura mínima de 1,7°C e 2,1°C e uma redução da temperatura máxima de 1,7°C e 1,8°C, respectivamente.

Verifica-se ainda que as alterações na espessura do isolante não influenciam nas temperaturas mínimas e máximas na mesma proporção. A primeira alteração trouxe uma maior otimização em relação às posteriores. Para a cidade de São Joaquim, por exemplo, enquanto a primeira alteração proporcionou um aumento da temperatura mínima de 1,8°C, as outras duas, apresentaram variação de apenas 0,4°C.

Figura 45 - Temperaturas mínimas e máximas registradas com a aplicação de isolamento térmico na parede para as cidades de São Joaquim, Curitiba e Santa Maria.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.2.2. Conjugação de estratégias das Etapas 1 e 2A

Para verificar o impacto da conjugação das estratégias aplicadas nas Etapas 1 e 2A (Figura 26), foram cruzados os dados das alterações para maior exposição dos ambientes à radiação solar e aplicação de isolamento das paredes externas. Em razão das pequenas diferenças registradas entre a segunda e terceira alteração de janela, para a seguinte análise foram suprimidos os dados da segunda alteração.

O Quadro 22 apresenta em formato de tabela os resultados em Graus-hora de aquecimento e resfriamento para a Zona Térmica 2 (Dormitório 1) nas diferentes cidades estudadas. O Quadro 23, traz os mesmos resultados, mas em percentagem de redução em relação ao Caso base. Valores negativos significam aumento no valor de Graus-hora (células sombreadas)

A Figura 46, Figura 48 e Figura 50 apresentam os resultados em formato de gráfico do registro de Graus-hora para aquecimento. A Figura 47, Figura 49 e Figura 51 apresentam os resultados em formato de gráfico do registro de Graus-hora para resfriamento. Os eixos verticais mostram a quantidade de Graus-hora de aquecimento com base na temperatura de 18°C (GHA18) ou resfriamento com base na temperatura de 23°C (GHR23) da edificação. Os eixos horizontais indicam as alterações de transmitância térmica em virtude da alteração na espessura de isolamento térmico.

Observou-se que as alterações de maior exposição dos ambientes à radiação solar por meio das esquadrias favoreceram uma redução de 8% em São Joaquim, 9% em Curitiba e 6% em Santa Maria no registro de Graus-hora para aquecimento. Contudo, para as cidades de Curitiba e Santa Maria houve um significativo aumento percentual no registro de graus-hora para resfriamento. Porém, em Curitiba o resultado é irrelevante em razão dos baixos valores absolutos.

Se a maior exposição dos ambientes à radiação solar trouxe consequências inversas aos registros de Graus-hora para aquecimento e resfriamento, a aplicação de isolamento térmico nas paredes foi favorável para os dois casos.

Quadro 22 - Resultados em Graus-hora das alterações de área de janela e aplicação de diferentes isolamentos térmicos nas paredes na Zona Térmica 2 (Dormitório 1).

	Área de janela	GHA18 (°Ch)				GHR23 (°Ch)			
		Isolamento Térmico (mm)				Isolamento Térmico (mm)			
	[% piso]	0	25	50	100	0	25	50	100
SÃO JOAQUIM	14%	20457	18301	17451	16706	0	0	0	0
	21%	20022	17838	16994	16186	0	0	0	0
	34%	19415	17260	16452	15754	0	0	0	0
	41%	18907	16740	15935	15242	0	0	0	0
CURITIBA	14%	7301	6852	6575	6395	38	0	0	0
	21%	7136	6582	6365	6175	61	5	2	0
	34%	6843	6244	6012	5809	117	26	17	13
	41%	6617	5997	5758	5550	170	57	44	37
SANTA MARIA	14%	7013	6295	6025	5800	4357	3608	3416	3276
	21%	6909	6187	5917	5689	4633	3944	3769	3641
	34%	6727	6007	5740	5517	4879	4290	4152	4052
	41%	6576	5859	5593	5373	5193	4657	4542	4460

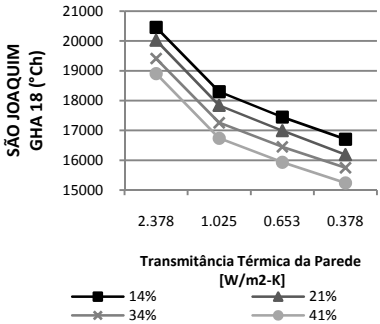
Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 23 - Resultado em Percentagem de Otimização das alterações de área de janela e aplicação de diferentes isolamentos térmicos nas paredes na Zona Térmica 2 (Dormitório 1).

	Área de janela	OTIMIZAÇÃO GHA18 (%)				OTIMIZAÇÃO GHR23 (%)			
		Isolamento Térmico (mm)				Isolamento Térmico (mm)			
	[% piso]	0	25	50	100	0	25	50	100
SÃO JOAQUIM	14%		11%	15%	18%		-	-	-
	21%	2%	13%	17%	21%	-	-	-	-
	34%	5%	16%	20%	23%	-	-	-	-
	41%	8%	18%	22%	25%	-	-	-	-
CURITIBA	14%		6%	10%	12%		100%	100%	100%
	21%	2%	10%	13%	15%	-61%	87%	96%	99%
	34%	6%	14%	18%	20%	-206%	33%	55%	66%
	41%	9%	18%	21%	24%	-345%	-50%	-15%	4%
SANTA MARIA	14%		10%	14%	17%		17%	22%	25%
	21%	1%	12%	16%	19%	-6%	9%	13%	16%
	34%	4%	14%	18%	21%	-12%	2%	5%	7%
	41%	6%	16%	20%	23%	-19%	-7%	-4%	-2%

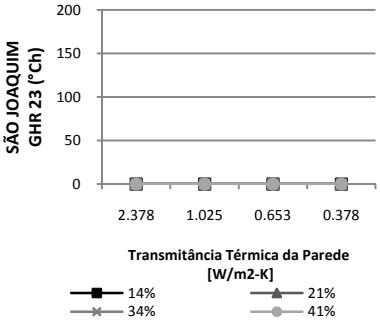
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 46 - Gráfico GHA18 das alterações na Etapa 1 e 2A para a cidade de São Joaquim.



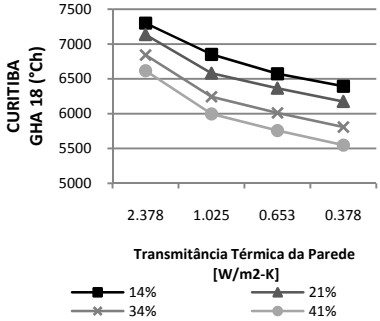
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 47 - Gráfico GHR23 das alterações na Etapa 1 e 2A para a cidade de São Joaquim.



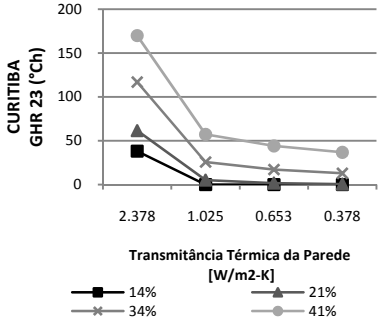
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 48 - Gráfico GHA18 das alterações na Etapa 1 e 2A para a cidade de Curitiba.



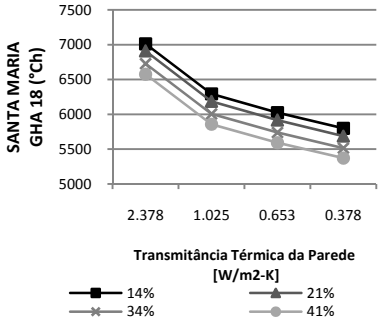
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 49 - Gráfico GHR23 das alterações na Etapa 1 e 2A para a cidade de Curitiba.



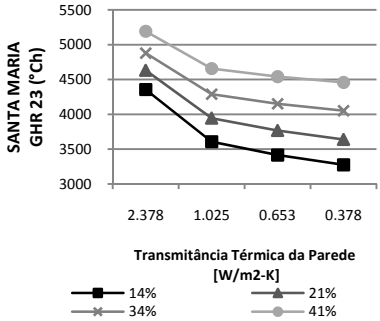
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 50 - Gráfico GHA18 das alterações na Etapa 1 e 2A para a cidade de Santa Maria.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 51 - Gráfico GHR23 das alterações na Etapa 1 e 2A para a cidade de Santa Maria.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como foi observado na seção anterior, o isolamento térmico possibilitou um aumento das temperaturas mínimas e uma redução das temperaturas máximas, reduzindo a necessidade, respectivamente, de aquecimento e resfriamento da edificação. A redução da necessidade de aquecimento da edificação foi de 18% para São Joaquim, 12% para Curitiba e 17% para Santa Maria. A necessidade de resfriamento para as cidades de São Joaquim e Curitiba, que já apresentavam-se baixa, passou a ser nula e, para Santa Maria houve uma redução de 25%.

Ainda que a maior exposição solar tenha influenciado negativamente a necessidade de resfriamento da edificação, principalmente para a cidade de Santa Maria, o isolamento térmico na parede, posicionado do lado externo, reduziu esse impacto, promovendo uma compensação.

Os resultados no formato de tabelas com as porcentagens das otimizações (redução de Graus-hora) para as Zonas Térmicas 1 e 3 podem ser encontrados no Apêndice D.

Combinando as duas estratégias, a redução máxima no registro de graus-hora para aquecimento chegou a 25% em São Joaquim. Para essa cidade não houve alteração no registro de graus-hora para resfriamento, diferenciando-se das cidades de Curitiba e Santa Maria.

É importante verificar que os valores em percentagem para redução da necessidade de aquecimento da edificação assemelham-se para as diferentes cidades, mesmo apresentando quantidade de Graus-hora diferenciados.

As duas estratégias demonstraram ser adequadas para as cidades de São Joaquim e Curitiba, ambas pertencentes à Zona Climática 1. Para Curitiba, a terceira alteração de janela não trouxe bons resultados para a

estação do verão. Para Santa Maria, pertencente à Zona Climática 2, somente a estratégia de isolamento trouxe compensações favoráveis.

4.3.2.3. Aplicação de Isolamento Térmico no Piso (Etapa 2B) e Cobertura (Etapa 2C)

Dando sequência às alterações no envelope da edificação, conforme fluxograma (Figura 26), foram realizadas a aplicação de isolamento no piso e cobertura para o caso de maior exposição à radiação solar por meio das esquadrias e maior isolamento térmico.

O Quadro 24 apresenta as alterações realizadas na transmitância térmica do piso e telhado. Ao piso foi aplicado o isolante térmico de 15mm alterando a transmitância térmica de 4,04 W/m²K para 1,71 W/m²K. O telhado já possuía um isolamento térmico em manta de espuma de polietileno expandido e poliéster metalizado. Este isolamento foi substituído por lã de pedra 25mm, alterando a transmitância térmica de 2,31 W/m²K para 1,13 W/m²K.

Quadro 24 - Alterações na transmitância térmica do piso.

Modelo	Tipo do Piso	Transmitância Térmica [W/m²K]	Capacidade Térmica CT [kJ/m²K]
Caso Base	Concreto (sem isolamento)	4,04	360
ALT 1	Concreto + isolamento térmico 15mm	1,71	381

Fonte: Elaborado pelo autor.

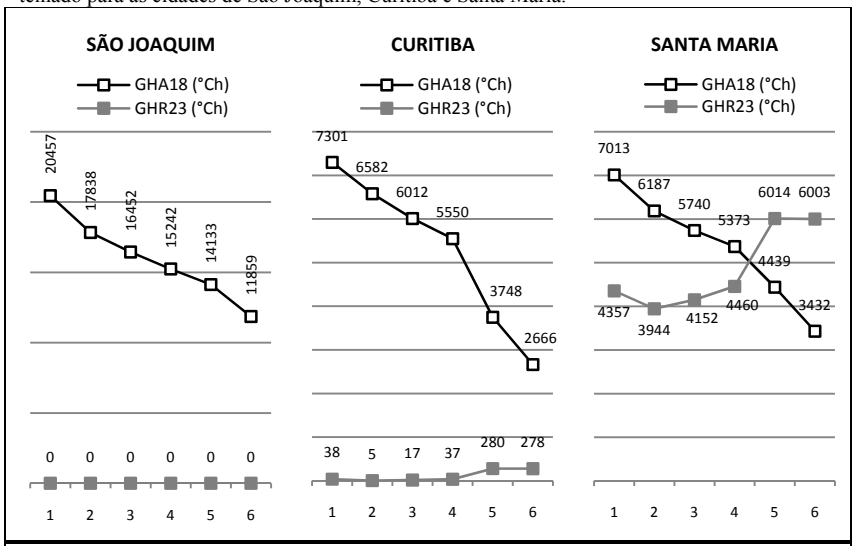
Quadro 25- Alterações na transmitância térmica do telhado.

Modelo	Tipo do Telhado	Transmitância Térmica [W/m²K]	Capacidade Térmica CT [kJ/m²K]
Caso Base	Cerâmico + isolamento térmico 5mm	2,31	378
ALT 1	Cerâmico + isolamento térmico 25mm	1,13	380

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os gráficos da Figura 52 apresentam para cada cidade as necessidades de aquecimento e resfriamento para a Zona Térmica 2 (Dormitório 1) conforme as alterações realizadas, explicitadas na legenda com numeração de 1 a 6. São apresentadas os resultados em Graus-hora das alterações de isolamento da parede e aumento de janela, de maneira conjugada, permitindo avaliar as progressões das alterações. As duas últimas alterações, de número 5 e 6 correspondem à aplicação de isolamento térmico no piso e telhado, respectivamente.

Figura 52 - Gráficos de HDH18 e CDH23 da aplicação de isolamento térmico no piso e telhado para as cidades de São Joaquim, Curitiba e Santa Maria.



1 - **Caso Base - sem isolamento** e área de janela **14%** do piso
2 - Isolamento da parede **25mm** e área de janela **21%** do piso
3 - Isolamento da parede **50mm** e área de janela **34%** do piso
4 - Isolamento da parede **100mm** e área de janela **41%** do piso
5 - Isolamento da parede **100mm** e área de janela **41%** do piso + Isolamento do piso
6 - Isolamento da parede **100mm** e área de janela **41%** do piso + Isolamento do piso e telhado

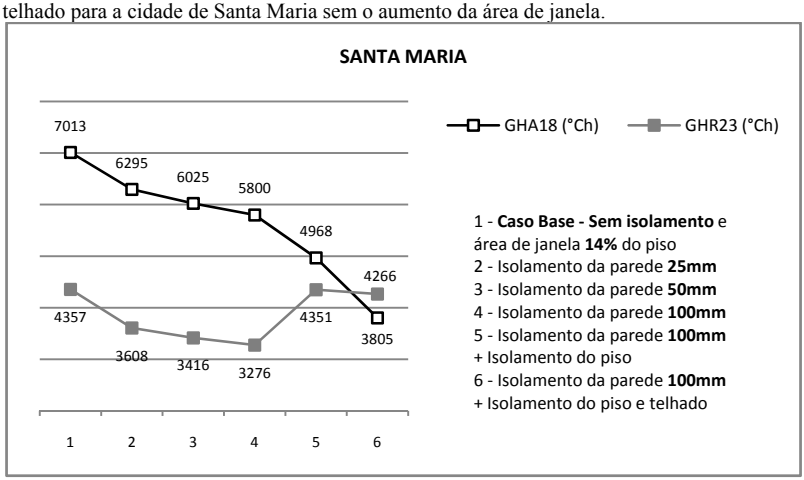
Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível observar nos gráficos que a aplicação de isolamento no piso e a melhoria realizada no isolamento da cobertura trouxeram sensíveis alterações de redução da necessidade de aquecimento da edificação. Houve um ligeiro aumento da necessidade de resfriamento no verão para a cidade de Curitiba, e maior, para cidade de Santa Maria.

Da mesma forma que a maior exposição dos ambientes à radiação solar trouxe pequenas consequências ao aumento dos valores de Graus-hora para resfriamento na cidade de Curitiba, o aumento registrado com o uso de isolamento térmico, no piso e cobertura, nessa cidade, não se constitui impeditivo à aplicação da estratégia.

Em razão dos resultados desfavoráveis apresentados com o aumento da área de janela para o caso de Santa Maria, realizou-se novo estudo (Figura 53) da aplicação de isolamento do piso e cobertura no Caso Base, sem ampliação de área de janela.

Figura 53 - Gráfico de HDH18 e CDH23 da aplicação de isolamento térmico no piso e telhado para a cidade de Santa Maria sem o aumento da área de janela.

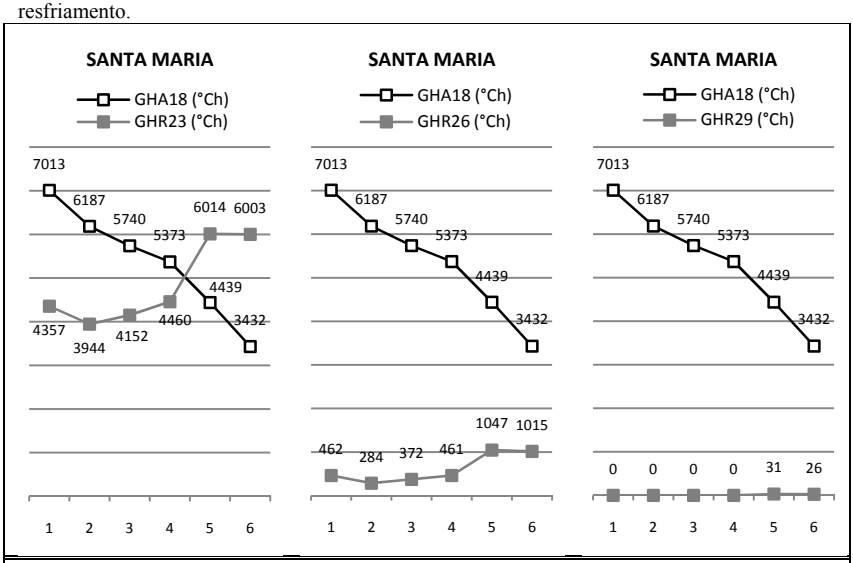


Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados demonstraram-se melhores em comparação ao Caso Base, havendo redução da quantidade de graus-hora de aquecimento, sem significativa alteração nos graus-hora de resfriamento.

Os resultados até aqui apresentados para necessidade de resfriamento tiveram como base a temperatura de 23°C, abaixo da temperatura de 26°C que é base para as análises de consumo de resfriamento da edificação para o RTQ-R e da temperatura de 29°C, considerada como limite da faixa de conforto estabelecidas por Givoni (1992) para verão em edificações naturalmente ventiladas.

Figura 54 - Gráficos da aplicação de isolamento térmico no piso e telhado para a cidade de Santa Maria sem o aumento da área de janela com variação da temperatura base de resfriamento.



1 - **Caso Base - Sem isolamento** e área de janela **14%** do piso
2 - Isolamento da parede **25mm** e área de janela **21%** do piso
3 - Isolamento da parede **50mm** e área de janela **34%** do piso
4 - Isolamento da parede **100mm** e área de janela **41%** do piso
5 - Isolamento da parede **100mm** e área de janela **41%** do piso + Isolamento do piso
6 - Isolamento da parede **100mm** e área de janela **41%** do piso + Isolamento do piso e telhado

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando maior tolerância para as temperaturas máximas, avaliou-se os resultados de Graus-hora de resfriamento (GHR) com a alteração da temperatura base, de 23°C para 26°C e 29°C na cidade de Santa Maria (Figura 54).

Os resultados da quantidade de Graus-hora de resfriamento para as bases 26°C e 29°C demonstram bem inferiores àqueles registrados na base 23°C. Isso reflete a pequena quantidade de temperaturas superiores à 26°C e 29°C encontradas no ambiente e a interferência da definição da temperatura base para os resultados apresentados.

4.3.2.4. Aplicação de Vidro Duplo nas Esquadrias (Etapa 2D)

Em uma última etapa de isolamento da edificação, analisou-se o seu desempenho térmico com a substituição da esquadria com vidro simples pelo vidro duplo com câmara de ar, alterando a transmitância térmica desse de 5,90 W/m²K para 2,70 W/m²K e o Fator Solar de 0,86 para 0,70 (Quadro 26).

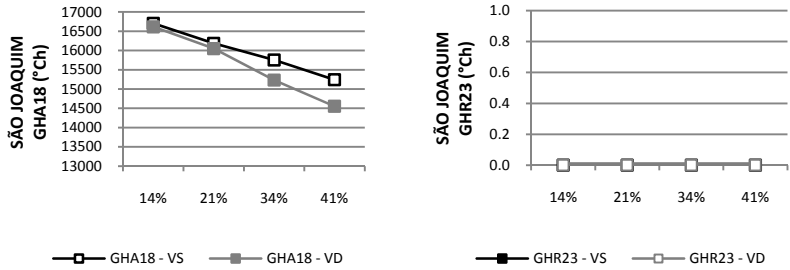
Quadro 26 - Alteração do tipo de vidro.

Modelo	Tipo do Vidro	Transmitância Térmica do Vidro [W/m2-K]	FS
Caso Base	Vidro Simples 3mm	5,89	0,86
ALT 1	Vidro Duplo (Vidro Simples 3mm + Ar 12,7mm+ Vidro Simples 3mm)	2,70	0,70

Fonte: Elaborado pelo autor.

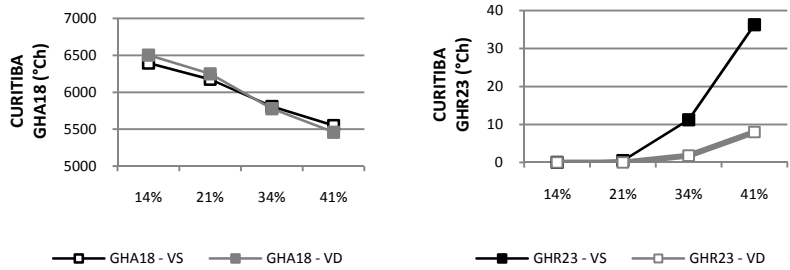
A seguir, são apresentados os gráficos de resultados gerados (Figura 55, Figura 56 e Figura 57) com as simulações computacionais da alteração do vidro. Os eixos verticais registram a quantidade de Graus-hora de aquecimento com base na temperatura de 18°C (GHA18) ou resfriamento com base na temperatura de 23°C (GHR23) da edificação.

Figura 55 - Gráfico de aplicação de vidro duplo em casos com isolamento térmico de parede 100mm e alteração de área de janela para cidade de São Joaquim.



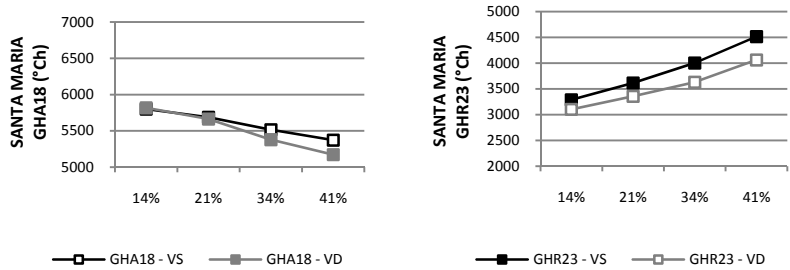
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 56 - Gráfico de aplicação de vidro duplo em casos com isolamento térmico de parede 100mm e alteração de área de janela para cidade de Curitiba.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 57 - Gráfico de aplicação de vidro duplo em casos com isolamento térmico de parede 100mm e alteração de área de janela para cidade de Santa Maria.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os eixos horizontais correspondem às alterações de maior exposição dos ambientes à radiação solar por meio das esquadrias. Os resultados das simulações são representados pelas linhas, correspondentes à alteração de janela para vidro simples (VS) e duplo (VD). A aplicação do vidro duplo foi analisada para o modelo com 100mm de isolamento de parede e diferentes exposições à radiação solar por meio das esquadrias para o ambiente Dormitório 1 (Zona Térmica 2).

O uso de vidro duplo apresentou-se adequado para a cidade de São Joaquim onde houve um impacto positivo registrado na redução da necessidade de aquecimento, em torno de 5% no caso em que a área de janela é superior a 21% da área de piso. Para Santa Maria, a aplicação de vidro duplo colaborou para reduzir a necessidade de aquecimento em 4% nos meses mais frios e, principalmente, reduzir a necessidade de resfriamento em 11% nos meses mais quentes. Para a cidade de Curitiba, no presente estudo, para um ambiente específico, Zona Térmica 2 (Dormitório 1), com orientação norte e leste, o vidro duplo não trouxe significativas alterações registrando uma redução de apenas 2% da necessidade de aquecimento da edificação.

4.3.3. Minimização do Fluxo de Ar Externo por Convecção (Etapa 3)

De acordo com o fluxograma de estratégias para o frio (Figura 26) a Etapa 3 refere-se à minimização do fluxo de ar externo. Esta estratégia é aplicada com o objetivo de não permitir que o calor, adquirido pelas aberturas por meio de radiação solar e retido pela edificação isolada, tenha fuga através de frestas e/ou manipulação

incorreta no uso de janelas. A edificação estanque, com previsão de trocas de ar necessárias à salubridade do ambiente, pode garantir, em climas mais frios, uma redução da necessidade de aquecimento da edificação.

Conforme relatado na Metodologia, o padrão de ventilação adotado foi conforme as especificações do RTQ-R que permite abrir as janelas quando a temperatura do ar interno é superior à 20°C ou quando a temperatura interna for superior à temperatura externa.

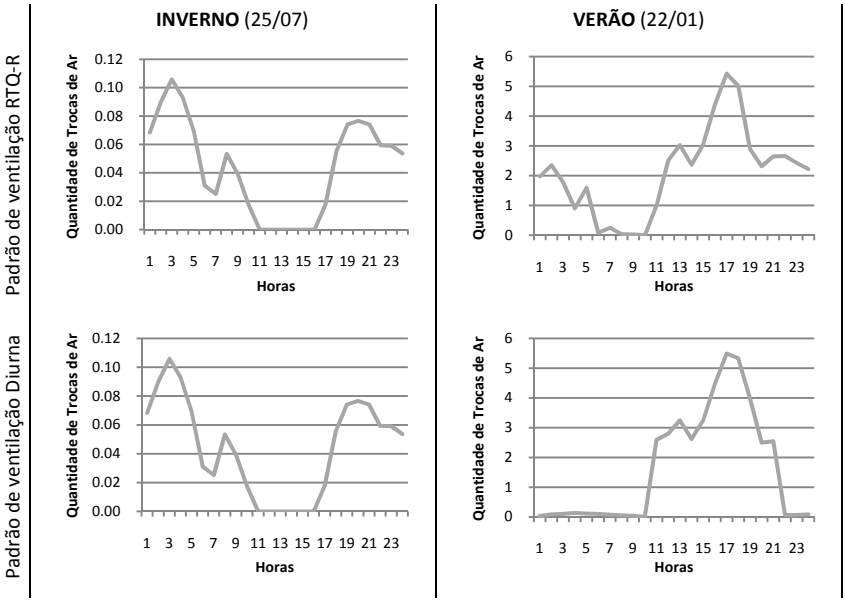
Pouey (2011), contudo, alerta a necessidade de revisão da temperatura de 20°C para setpoint de abertura das janelas estabelecida no RTQ-R em razão de constituir-se muito baixa e prejudicar o acúmulo de calor no interior da edificação, desejado para o período de inverno.

Além disso, esse padrão não corresponde à realidade usual das residências brasileiras, que se apresenta comumente diurna, por razões de segurança e privacidade. Matos et al. (2005) apontam a dificuldade em assumir um padrão de ventilação na construção do modelo, em razão de estar intimamente ligada à cultura e à rotina das pessoas.

Desta forma, realizou-se um estudo da alteração do padrão de ventilação para diurna. A Figura 58 apresenta a quantidade de trocas de ar com o padrão estabelecido pelo RTQ-R e a alteração do padrão de ventilação para diurna, para um dia de inverno (25/07) e um dia de verão (22/01) na Zona Térmica 2 em Santa Maria. Para o Caso Base verificou-se que, no período de inverno, as trocas ocorrem em pequena quantidade por infiltração, e no verão há uma variação, chegando em torno de 5 trocas no período da tarde e próximo de 3 trocas no período noturno. A alteração no padrão de ventilação trouxe implicações mais significativas para o verão, no qual a ventilação noturna contribuía para o resfriamento

passivo da edificação. As trocas ocorridas no período das 21 horas às 8 horas devem-se apenas por infiltração por frestas.

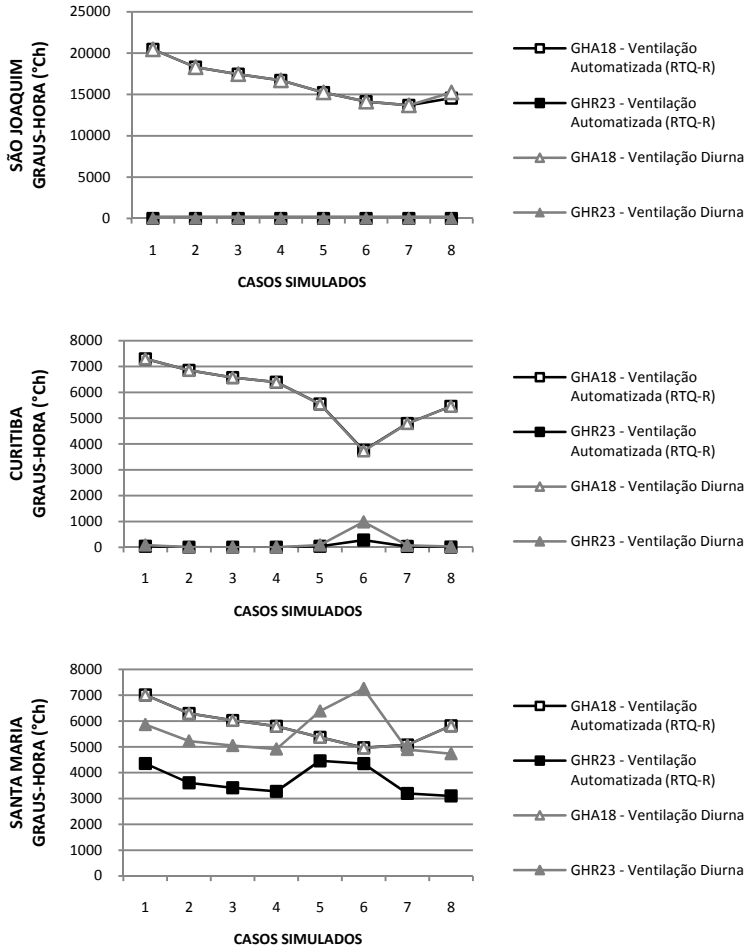
Figura 58 - Quantidade de trocas de ar registrado para um dia de inverno (25/07) e verão (22/01) em diferentes padrões de ventilação (RTQ-R e Diurna) na Zona Térmica 2 para a cidade de Santa Maria no modelo Caso base.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Verificou-se, portanto, o impacto da alteração de padrão de ventilação para diurna na quantidade de Graus-hora para aquecimento e resfriamento em sete estratégias até aqui estudadas. A Figura 59 apresenta os resultados. Os eixos verticais registram a quantidade de Graus-hora de aquecimento com base na temperatura de 18°C (GHA18) ou resfriamento com base na temperatura de 23°C (GHR23) da edificação. Os eixos horizontais correspondem aos casos simulados, especificados em legenda.

Figura 59 - Alteração no padrão de ventilação para as diferentes estratégias aplicadas na Zona Térmica 2 nas cidades estudadas.



LEGENDA CASOS SIMULADOS:

1 - Caso Base
2 - Isolamento térmico parede 25mm
3 - Isolamento térmico parede 50mm
4 - Isolamento térmico parede 100mm
5 - Isolamento térmico parede 100mm + área de janela 41% do piso
6 - Isolamento térmico parede 100mm + área de janela 41% do piso* + Isolamento piso 15mm
7 - Isolamento térmico parede 100mm + área de janela 41% do piso* + Isolamento cobertura 25mm
8 - Isolamento térmico parede 100mm + área de janela 41% do piso* + vidro duplo
* exceto para a cidade de Santa Maria na qual manteve-se a área de janela em 14% do piso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados das simulações demonstraram que não ocorreram impactos nos resultados para as cidades de São Joaquim e Curitiba. Contudo, para Santa Maria houve um acréscimo na quantidade de Graus-hora de resfriamento (GHR23) na Zona Térmica 2, de 35% para o Caso Base e para as demais estratégias aplicadas um acréscimo em torno de 50%.

A maior alteração ocorreu com a aplicação de isolamento térmico no piso, alcançando um acréscimo na quantidade de Graus-hora de resfriamento de 67%. Estes resultados são expressivos e devem-se, principalmente, à supressão da ventilação noturna que beneficiaria o conforto nos dias mais quentes.

Portanto, evidencia-se a importância da ventilação como reguladora da temperatura interna da edificação e o impacto negativo da adoção de ventilação apenas diurna em períodos quentes do ano em edificações localizadas em Zona Bioclimática 2.

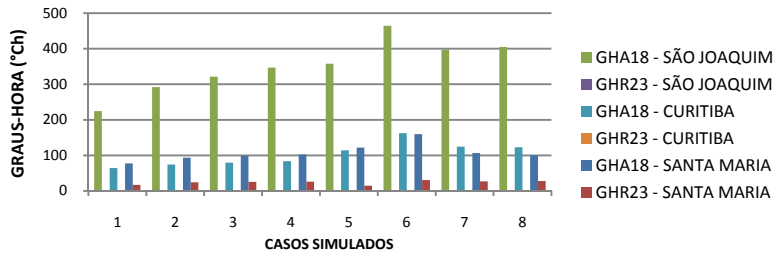
Verificou-se, em seguida, o impacto da redução de infiltração por meio das esquadrias com a alteração da taxa de fluxo de massa de ar de 0,001kg/m.s para próximo de nula.

A Figura 60 apresenta os resultados da simulação de maneira gráfica e dados dos percentuais de otimização.

A redução da infiltração por meio das esquadrias demonstrou redução de GHA18, de até 3,3% (465°Ch) para São Joaquim, 4,3% (162°Ch) para Curitiba e 3,2% (160°Ch) para Santa Maria. Quanto ao GHR23, não houve significativas alterações, chegando em torno de 1% para o caso de Santa Maria.

Os resultados demonstraram-se favoráveis para as cidades localizadas na Zonas Bioclimáticas 1 e 2 com benefícios no controle da temperatura interna para os dias mais frios, sem consequências no verão em razão da possibilidade de abertura das esquadrias para ventilação.

Figura 60 - Alteração da taxa de infiltração para as diferentes estratégias aplicadas na Zona Térmica 2 nas cidades estudadas.



SÃO JOAQUIM		CURITIBA		SANTA MARIA	
GHA18	GHR23	GHA18	GHR23	GHA18	GHR23
1,1%	0,0%	0,9%	0,0%	1,1%	0,4%
1,6%	0,0%	1,1%	0,0%	1,5%	0,7%
1,8%	0,0%	1,2%	0,0%	1,6%	0,8%
2,1%	0,0%	1,3%	0,0%	1,8%	0,8%
2,3%	0,0%	2,1%	0,0%	2,3%	0,3%
3,3%	0,0%	4,3%	0,0%	3,2%	0,7%
2,9%	0,0%	2,6%	0,0%	2,1%	0,8%
2,8%	0,0%	2,2%	0,0%	1,7%	0,9%

OBS.: *exceto para a cidade de Santa Maria na qual manteve-se a área de janela em 14% do piso.

LEGENDA:

1 - Caso Base

2 - Isolamento térmico parede 25mm

3 - Isolamento térmico parede 50mm

4 - Isolamento térmico parede 100mm

5 - Isolamento térmico parede 100mm + área de janela 41% do piso

6 - Isolamento térmico parede 100mm + área de janela 41% do piso* + Isolamento piso 15mm

7 - Isolamento térmico parede 100mm + área de janela 41% do piso* + Isolamento cobertura 25mm

8 - Isolamento térmico parede 100mm + área de janela 41% do piso* + vidro duplo

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.4. Síntese dos resultados das estratégias aplicadas nas Etapas 1, 2 e 3.

A seguir apresenta-se um resumo (Quadro 27) dos resultados para GHA18, e GHR23, das estratégias aplicadas nas Etapas 1, 2 e 3 conforme o fluxograma de estratégias para o frio (Figura 26).

Quadro 27 - Resumo dos resultados obtidos no estudo da aplicação de estratégias de promoção de ganhos de calor por radiação e redução dos fluxos de calor por condução e minimização do fluxo de ar externo por convecção, recomendadas para o frio, em cidades de clima temperado localizadas no sul do Brasil.

SÃO JOAQUIM	PROMOÇÃO DE GANHOS DE CALOR POR RADIAÇÃO				REDUÇÃO DOS FLUXOS DE CALOR POR CONDUÇÃO						MINIMIZAÇÃO DO FLUXO DE AR EXTERNO POR CONVECÇÃO
	ENVELOPE				PAREDE			PISO	COBERTURA	VIDRO DUPLO	ESTANQUEIDADE
	1	2	3	4	25mm	50mm	100mm	15mm	25mm		
GHA18	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
GHR23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CURITIBA	PROMOÇÃO DE GANHOS DE CALOR POR RADIAÇÃO				REDUÇÃO DOS FLUXOS DE CALOR POR CONDUÇÃO						MINIMIZAÇÃO DO FLUXO DE AR EXTERNO POR CONVECÇÃO
	ENVELOPE				PAREDE			PISO	COBERTURA	VIDRO DUPLO	ESTANQUEIDADE
	1	2	3	4	25mm	50mm	100mm	15mm	25mm		
GHA18	√	√	√	√	√	√	√	√	√	-	√
GHR23	-	-	-	-	√	√	√	-	-	-	-

SANTA MARIA	PROMOÇÃO DE GANHOS DE CALOR POR RADIAÇÃO				REDUÇÃO DOS FLUXOS DE CALOR POR CONDUÇÃO						MINIMIZAÇÃO DO FLUXO DE AR EXTERNO POR CONVECÇÃO
	ENVELOPE				PAREDE			PISO	COBERTURA	VIDRO DUPLO	ESTANQUEIDADE
	1	2	3	4	25mm	50mm	100mm	15mm	25mm		
GHA18	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
GHR23	X	X	X	X	√	√	√	X	-	√	-

LEGENDA:

√	ALTERAÇÃO POSITIVA
X	ALTERAÇÃO NEGATIVA
-	HOUVE ALTERAÇÃO NEGATIVA DE POUCA EXPRESSIVIDADE
-	NÃO HOUVE SIGNIFICATIVA ALTERAÇÃO

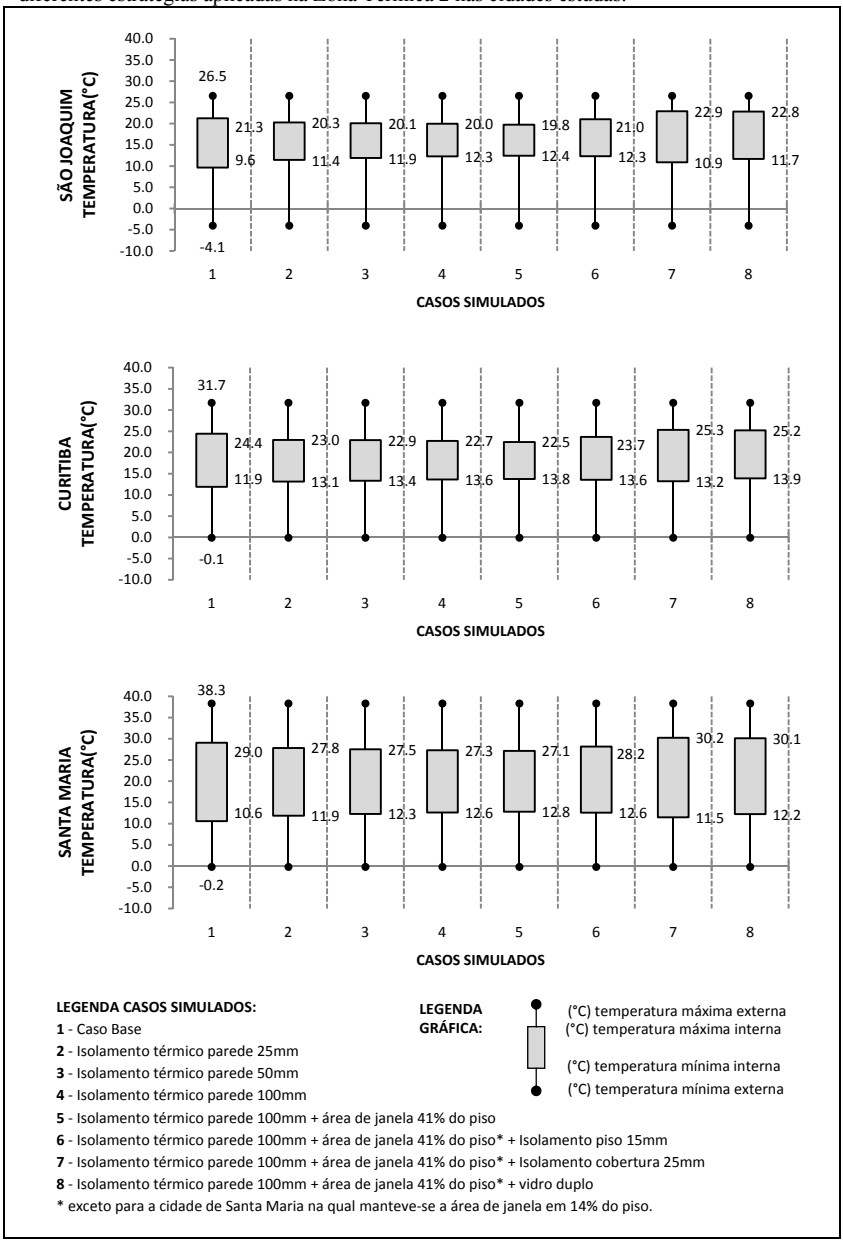
Legenda: Promoção de Ganhos de Calor por Radiação: 1-14%; 2-21%; 3-34%; 4-41% - Percentagens de área de janela relativo à área de piso do ambiente.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verificou-se, portanto, que as estratégias aplicadas para a cidade de São Joaquim demonstraram-se favoráveis para a redução da quantidade de Graus-hora para aquecimento com base na temperatura de 18°C, e manteve nula a quantidade de Graus-hora para resfriamento com base na temperatura de 23°C. Para a cidade de Curitiba houve, também, uma redução da quantidade de Graus-hora para aquecimento e, embora tenha ocorrido uma elevação das temperaturas internas da edificação, provocou uma pequena elevação, de pouca significância, da quantidade de Graus-hora para resfriamento. No caso de Santa Maria houve uma redução da quantidade de Graus-hora para aquecimento, contudo o impacto de algumas estratégias demonstrou-se negativo, como a promoção de ganhos de calor por radiação e isolamento do piso, que trouxeram um significativo aumento na quantidade de Graus-hora para resfriamento.

A Figura 61 apresenta a variação das temperaturas mínimas e máximas internas e externas anuais para as diferentes estratégias aplicadas na Zona Térmica 2 nas cidades estudas. No eixo vertical constam as temperaturas em graus Celsius (°C) e no eixo horizontal os casos simulados. As temperaturas máximas e mínimas externas anuais apresentam-se nos extremos do gráfico e as temperaturas internas, máximas e mínimas, no corpo do *candlestick*, conforme legenda gráfica. O aumento das temperaturas mínimas e a redução das temperaturas máximas indicam uma redução da amplitude térmica e sugerem melhoria no conforto térmico da edificação. O registro de temperaturas mínimas, médias e máximas ao longo do ano, para cada caso estudado, pode ser encontrado no Apêndice E.

Figura 61 - Variação das temperaturas mínimas e máximas internas e externas anuais para as diferentes estratégias aplicadas na Zona Térmica 2 nas cidades estudas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Frente aos casos simulados, o que apresentou o menor intervalo entre as temperaturas máxima e mínima internas, foi o modelo com isolamento térmico na parede de 100mm, conjugada à estratégia de ampliação de área de janela, com exceção ao caso de Santa Maria, com observação no gráfico, que se manteve para a janela o dimensionamento do Caso Base.

Para a cidade de São Joaquim, a cidade mais fria, o maior registro de aumento da temperatura mínima foi de 16,5°C em relação à temperatura externa, e comparativamente ao Caso Base para a Zona Térmica 2, foi de 2,8°C.

Para a cidade de Santa Maria, a cidade mais quente, o maior registro de redução da temperatura máxima foi de 11,2°C e 1,9°C, comparativamente à temperatura externa e interna do Caso Base para a Zona Térmica 2, respectivamente.

Para as cidades de Curitiba e Santa Maria as alterações na temperatura mínima foram de 1,2°C e 1,3°C e na temperatura máxima de 1,5°C e 1,2°C, respectivamente. Estes resultados correspondem em uma melhoria de 11% para a cidade de São Joaquim, 6% para Curitiba e 10% para Santa Maria na redução de Graus-hora para aquecimento da edificação.

O Quadro 28 apresenta os resultados da comparação entre a quantidade de Graus-hora de cada cidade, a redução obtida no Caso Base e no melhor caso estudado. Na coluna 1 são apresentados os dados da quantidade de Graus-hora para aquecimento e resfriamento para cada uma das cidades, com referência à temperatura externa. A segunda coluna traz a redução da quantidade de Graus-hora verificada para o Caso Base, e a terceira coluna refere-se à otimização em percentagem do

Caso Base com referência à quantidade de Graus-hora de cada cidade. A quarta coluna traz os resultados da quantidade de Graus-hora para o melhor caso estudado (maior isolamento térmico na parede, piso e cobertura, vidro duplo e redução da infiltração pelas esquadrias) com a maior ampliação de área de janela para as cidades de São Joaquim e Curitiba e sem alterações de área de janela para a cidade de Santa Maria. A coluna 5 apresenta a otimização em percentagem do melhor caso, com referência à quantidade de Graus-hora de cada cidade, e a coluna 6 a otimização em percentagem do melhor caso com referência à quantidade de Graus-hora do Caso Base.

Quadro 28 - Comparação dos resultados entre a quantidade de Graus-hora para aquecimento e resfriamento de cada cidade estuda, a redução apresentada no Caso Base e no Melhor Caso estudado.

		1	2	3	4	5	6
		TEMPERATURA EXTERNA (°Ch)	**CASO BASE (°Ch)**	OTIMIZAÇÃO TEMP. EXTERNA (%)	**MELHOR CASO (°Ch)**	OTIMIZAÇÃO TEMP. EXTERNA (%)	OTIMIZAÇÃO CASO BASE (%)
SÃO JOAQUIM	GHA18	45055	20457	55%	9420	79%	54%
	GHR23	113	0	100%	0	100%	100%
CURITIBA	GHA18	19294	7301	62%	2170	89%	70%
	GHR23	2531	38	98%	120	95%	-
SANTA MARIA	GHA18	18164	7013	61%	3588	80%	49%
	GHR23	8584	4357	49%	3924	54%	10%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados demonstraram-se importantes em razão da expressiva redução da quantidade de Graus-hora. O melhor caso registrou para a cidade de São Joaquim uma redução da quantidade de Graus-hora para aquecimento de 79% em relação à quantidade de Graus-hora com referência à temperatura externa e 54% em relação à quantidade de Graus-hora do Caso Base. Para a cidade de Curitiba, o

melhor caso trouxe uma redução de 89% em relação à temperatura externa e 70% em relação à temperatura interna do Caso Base. Para Santa Maria, houve uma redução de 80% em relação à quantidade de Graus-hora com referência à temperatura externa e 49% em relação à quantidade de Graus-hora do Caso Base. As cidades de São Joaquim e Curitiba, ambas pertencentes à Zona Bioclimática 1 já apresentavam quantidades baixas de Graus-hora para resfriamento e tiveram redução já no Caso Base. Para Santa Maria o melhor caso registrou redução de 54% da quantidade de Graus-hora para resfriamento com referência à temperatura externa.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as conclusões do trabalho relativas à aplicação de estratégias de melhoria para o frio em clima temperado no Brasil. O trabalho verificou o impacto nas temperaturas internas e a possibilidade de sobreaquecimento da edificação no verão.

A região Sul brasileira, zonas bioclimáticas 1 e 2, apresenta clima diferenciado em relação às demais regiões do país em razão de apresentar um predomínio de desconforto por frio. O referencial teórico demonstrou a similaridade deste clima com o encontrado em outros países e que apresentam normativas mais restritivas daquelas estabelecidas no Brasil, quanto aos valores de transmitância térmica dos componentes da edificação.

A partir da simulação computacional foi estudada uma edificação residencial unifamiliar para três cidades representativas das Zonas Bioclimáticas 1 e 2 que apresentam cenários diferentes quanto às necessidades de aquecimento e resfriamento. Foram realizadas alterações no modelo para permitir uma maior exposição dos ambientes à radiação solar por meio das esquadrias, diferentes níveis de isolamento de paredes, piso, cobertura e vidro e alterações no fluxo de ar externo.

Entre as três cidades escolhidas para estudo, São Joaquim é a que apresenta o maior registro de Graus-hora para aquecimento com base na temperatura de 18°C, e Santa Maria, o maior registro de Graus-hora para resfriamento com base na temperatura de 23°C. A terceira cidade estudada é Curitiba, que apresenta necessidades de aquecimento semelhantes a Santa Maria, mas menor necessidade de resfriamento.

Em uma avaliação do Caso Base, o modelo da edificação apresentou uma redução em torno de 50% das necessidades de aquecimento e resfriamento para as cidades em estudo, comparativamente às condições de temperatura externa de cada cidade. Com a realização do estudo do balanço térmico constatou-se que, com excessão aos ganhos internos provindos da ocupação, iluminação e equipamentos, a maior influência no ganho de calor é registrada pela janela. Paredes e teto registraram perdas no inverno e ganhos de calor ao ambiente no verão, enquanto que o piso registrou ganhos de calor ao ambiente no inverno e perdas no verão. Outros dois fatos demonstram-se importantes ao balanço térmico da edificação: a ocupação do ambiente no período noturno acabou influenciando no balanço principalmente em dias mais frios, garantindo ganhos de calor ao ambiente; e a ventilação noturna trouxe equilíbrios nas temperaturas internas no verão.

As alterações do modelo para a promoção de um maior ganho de calor por radiação pelas janelas demonstraram uma redução nos valores de Graus-hora para aquecimento de 8% para São Joaquim, 9% para Curitiba e 6% para Santa Maria. Contudo, para a cidade mais quente, Santa Maria, pertencente à Zona Bioclimática 2, esta estratégia trouxe consequência de elevação da temperatura interna, influenciando no conforto térmico da edificação, principalmente, no verão.

Quanto às alterações do modelo para resistir às perdas de calor por condução, a primeira alteração foi a aplicação de isolamento térmico (lã de pedra) na parede em três espessuras diferentes (25mm, 50mm e 100mm). As simulações registraram um aumento das temperaturas mínimas e uma redução das temperaturas máximas, favorecendo para

redução das necessidades de aquecimento e resfriamento da edificação, respectivamente. Verificou-se ainda que as alterações na espessura do isolante não influenciaram nas temperaturas mínimas e máximas na mesma proporção. A primeira alteração trouxe uma maior otimização em relação às posteriores. Desta forma, a partir de um estudo da relação custo-benefício, possivelmente o uso do isolante com espessura em 25mm seria o mais indicado.

A aplicação de lã de pedra de 100mm na parede demonstrou a maior redução nos valores de Graus-hora para aquecimento com a alteração da transmitância térmica de 2,38 W/m²K para 0,38 W/m²K, 18% para São Joaquim, 12% para Curitiba e 17% para Santa Maria. Houve também uma redução nos valores de Graus-hora para resfriamento de 100% para a cidade de Curitiba e 25% para a cidade de Santa Maria.

A combinação das duas estratégias beneficiou somente a queda da necessidade de aquecimento com uma redução máxima de 25% para São Joaquim, 24% para Curitiba e 23% para Santa Maria. Quanto à necessidade de resfriamento, as alterações não foram significativas comparadas ao modelo base.

As alterações seguintes corresponderam às estratégias de aplicação de isolamento térmico no piso e melhoria no isolamento térmico da cobertura para o modelo com a alteração de maior promoção de ganho de calor ao ambiente e menor transmitância térmica na parede. Tanto a aplicação de isolamento no piso como no telhado trouxeram significativa redução da necessidade de aquecimento da edificação.

No caso de Santa Maria houve uma redução de 17% nos valores de Graus-hora para aquecimento com a aplicação de isolamento no piso

e um significativo aumento de 35% nos valores de Graus-hora para resfriamento. A aplicação de isolamento na cobertura trouxe uma redução dos valores de Graus-hora para aquecimento de 23%, sem alterações nos valores de Graus-hora para resfriamento.

Para Curitiba, houve uma redução de 32% nos valores de Graus-hora para aquecimento com a aplicação de isolamento no piso e um aumento pouco significativo nos valores de Graus-hora para resfriamento de 37°Ch para 280°Ch. A aplicação de isolamento na cobertura trouxe uma redução dos valores de Graus-hora para aquecimento de 29% e sem alterações nos valores de Graus-hora para resfriamento.

No caso de São Joaquim, a redução dos valores de Graus-hora para aquecimento com a aplicação de isolamento no piso foi de 8% e o isolamento na cobertura trouxe uma redução dos valores de Graus-hora para aquecimento de 16%. Para São Joaquim não houve alteração nos valores de Graus-hora para resfriamento.

Em razão do aumento registrado nos valores de Graus-hora de resfriamento para cidade de Santa Maria, realizou-se a alteração da temperatura base de 23°C para 26°C e 29°C. Conforme a temperatura base adotada, o registro de Graus-hora para resfriamento teve expressiva redução. Para o caso de alteração de maior promoção de ganho de calor ao ambiente e o maior isolamento térmico na parede, a quantidade de Graus-hora para resfriamento era de 6003°Ch para temperatura base de 23°C e passou para 1015°Ch na temperatura base de 26°C e apenas 26°Ch na temperatura base de 29°C. Os resultados demonstram que, embora tenham ocorrido alterações nos registros de graus-hora para resfriamento, as temperaturas não se elevaram tanto, permanecendo

dentro da faixa de conforto de 26°C, estabelecida pelo RTQ-R, e 29°C admitida por Givoni (1992) em edificações naturalmente ventiladas para verão.

A aplicação do vidro duplo foi analisada para a edificação com isolamento de 100mm e diferentes exposições dos ambientes à radiação solar por meio das esquadrias. São Joaquim apresentou uma redução da necessidade de aquecimento em 5% na maior área de janela, Curitiba apenas 2% e Santa Maria 4%. Para as duas primeiras cidades não houve significativas alterações da necessidade de resfriamento com a aplicação de vidro duplo por já se apresentarem baixas, no entanto, para Santa Maria houve uma redução de 11%.

Quanto à estratégia de minimização do fluxo de ar externo, adotou-se nas simulações realizadas o padrão de ventilação conforme especificações do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), que apresenta controle automático de abertura das esquadrias, permitindo a ventilação sempre que a temperatura do ar interno é superior à 20°C e quando a temperatura interna é superior à temperatura externa. Caso houvesse optado pela modelagem apenas diurna, os resultados das simulações não teriam significativas alterações para as cidades de São Joaquim e Curitiba. Contudo, para a cidade de Santa Maria haveria um acréscimo em torno de 50% na quantidade de Graus-hora para resfriamento. Estas alterações devem-se principalmente à supressão da ventilação noturna que beneficiaria os dias mais quentes.

Desenvolveu-se, em seguida, a análise do impacto da redução de infiltração por meio das esquadrias com a alteração da taxa de fluxo de massa de ar de 0,001kg/m.s para próximo de nula. Os resultados

apresentaram-se favoráveis, embora tenham tido pequeno impacto, reduzindo a quantidade de Graus-hora para aquecimento, em até 3,3% (465°Ch) para São Joaquim, 4,3% (162°Ch) para Curitiba e 3,2% (160°Ch) para Santa Maria, não apresentando significativas alterações para a quantidade Graus-hora para resfriamento.

Ao final dos resultados, apresentou-se um quadro síntese onde verificou-se a validade de cada estratégia aplicada para cada cidade (se houve uma redução da quantidade de Graus-hora para aquecimento e resfriamento).

As estratégias aplicadas no estudo, recomendadas para climas frios, foram favoráveis para a redução da quantidade de Graus-hora para aquecimento trazendo melhorias no conforto térmico da edificação para o inverno. No entanto, para a Zona Bioclimática 2 (no caso, Santa Maria), deve-se ter cautela na adoção da estratégia de ampliação dos ganhos de calor pelas janelas e isolamento do piso, já que há a possibilidade de superaquecimento da edificação no verão, ainda que a estratégia seja eficiente para o inverno. As alterações quanto à aplicação de isolamento térmico na parede e cobertura trouxeram resultados positivos tanto para a redução da necessidade de aquecimento quanto de resfriamento da edificação. A aplicação de vidro duplo para grandes aberturas demonstrou-se também positiva para São Joaquim e Santa Maria, enquanto que para Curitiba não houve significativas alterações.

A pesquisa mostrou importantes resultados em razão da expressiva redução da quantidade de Graus-hora atingida com a aplicação das estratégias recomendadas para o frio. Os melhores casos tiveram redução da quantidade de Graus-hora para aquecimento

superiores à 80% com referência à temperatura externa e superiores à 50% em relação à quantidade de Graus-hora do Caso Base.

5.2. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Os resultados deste estudo apresentam algumas limitações em razão dos recortes de estudo definidos na metodologia.

a) Desenvolveu-se o estudo em apenas três cidades representativas da Zona Bioclimática 1 e 2. Ainda que outras cidades tenham a mesma classificação, há variações, principalmente, quanto à necessidade de resfriamento da edificação, conforme Apêndice A;

b) A análise das alterações nos componentes da envoltória foi principalmente conduzida a partir de um ambiente com adequada orientação solar (norte). A orientação desfavorável das janelas poderiam trazer alterações nos resultados;

c) Não foram aplicadas no modelo estratégias recomendadas para o calor, como por exemplo, o uso de proteção solar nas esquadrias, que poderiam alterar o comportamento térmico da edificação, principalmente influenciando na redução da necessidade de resfriamento.

c) Estudou-se o comportamento da edificação a partir de apenas um padrão de uso e ocupação da edificação. O estudo do balanço térmico mostrou a influência deste fator na elevação da temperatura interna da edificação;

d) Os resultados foram analisados com base em simulação computacional a partir de um ano climático típico. A análise a partir de modelos ou ambientes físicos e a variação climática apresentada ano a ano podem trazer alterações nos resultados;

e) A análise pelo método Graus-hora não contempla alguns aspectos do conforto térmico da edificação como condições de velocidade do vento e umidade. Portanto, os resultados positivos apresentados da variação da temperatura interna da edificação, quando há uma redução da necessidade de aquecimento e resfriamento da edificação com referência em uma temperatura base, apenas sugerem uma melhoria do conforto térmico.

5.3. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

a) Realização do estudo para mais cidades localizadas na Zona Bioclimática 2;

b) Estabelecimento de limites máximos quanto à transmitância térmica dos componentes da edificação;

c) Conjugar a aplicação de estratégias recomendadas para o frio em clima temperado com estratégias recomendadas para o calor direcionadas à proteção solar das esquadrias e soluções em ventilação e que permitam o controle do usuário.

d) Viabilidade de edificações com baixíssima taxa de infiltração, com melhor qualidade de esquadrias, e utilização de ventilação mecânica e/ou bombas de calor.

REFERÊNCIAS

AKUTSU, M.; VITTORINO, F. Aplicação de isolantes térmicos em edificações: efeito no conforto térmico e nas cargas térmicas de condicionamento de ambientes. **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - 1o ENCAC Gramado**, p. 69–77, 1990. Porto Alegre, RS.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR ENGINEERS CONDITIONING (ASHRAE). ASHRAE Terminology, ASHRAE Handbook CD. , 2002. Atlanta.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR; ENGINEERS CONDITIONING (ASHRAE). ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.2: Energy-Efficient Design of Low-Rise. Residential Buildings. , 2007. Atlanta. Disponível em: <https://ashrae.iwrapper.com/ViewOnline/Standard_90.2-2007>. .

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR ENGINEERS CONDITIONING (ASHRAE). ASHRAE 55-2010: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. , 2010. Atlanta.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220 - 3: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. , 2005. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575-1: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1 : Requisitos gerais. , 2013. Rio de Janeiro, RJ.

CBIC. **Desempenho de edificações Habitacionais – Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. 1º ed. Câmara Brasileira da Construção Civil, 2013.

CEN. Thermal Performance of Buildings. Determination of Air Permeability of Buildings. Fan Pressurization Method. EN 13829, European Committee for Standardization. , 2001. Brussels.

CHING, F. D. K. **Arquitetura, forma e ordem**. 4º ed. São Paulo: Martins Fontes, 2005.

CHVATAL, K. M. S.; ROSSI, M. M. The Effect of Distinct Ventilation Strategies on Thermal Performance of Buildings With High Thermal Resistance in. **Building**, 2011.

CURCIO, D. **Desempenho termo-energético de habitações de interesse social produzidas pelo programa de arrendamento residência-Par, na cidade de Pelotas/RS**, 2011. Dissertação - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas.

DEGREEDAYS.NET. Custom Degree Day Data. Weather Data for Energy Professionals. Disponível em: <http://www.degreedays.net/>. .

EA-ETICS. European Association for External Thermal Insulation Composite System. Disponível em: <http://www.ea-etics.eu/>. .

FEIST, W.; SCHNIEDERS, J.; DORER, V.; HAAS, A. Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept. **Energy and Buildings**, v. 37, p. 1186–1203, 2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778805001118>. .

FROTA, A. B. ; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico.** São Paulo, SP, 1988.

GAPLAN. **Atlas de Santa Catarina. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral**. 1991.

GHISI, E.; LAMBERTS, R.; RORIZ, M.; PEREIRA, F. O. R.; SOUZA, M. C. R. DE. Normalização em conforto ambiental: desempenho térmico, lumínico e acústico de edificações. **Coletânea Habitare - vol. 3 - Normalização e Certificação na Construção Habitacional**, v. 3, n. 1995, p. 220p, 2003. Porto Alegre, RS. Disponível em: <http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/113.pdf\n31/07/2014>. .

GIVONI, B. Comfort , climate analysis and building design guidelines. **Energy and Building**, v. 18, p. 11–23, 1992.

GONÇALVES, O. M.; JOHN, V. M.; PICCHI, F. A.; SATO, N. M. . Normas técnicas para avaliação de sistemas construtivos inovadores para habitações. , 2003. ANTAC 2003. Coletânea Habitare v.3.

GONÇALVES, H.; BROTAS, L. A. Norma Passivhaus em climas quentes da Europa: Directrizes de projeto para casas confortáveis de baixo consumo energético. Parte 1. Revisão de casas confortáveis de baixo consumo energético. **Passive-On, IEEA**, 2007. Disponível em: <http://www.passive-on.org/CD/>. .

GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras 2. Ed.** Florianópolis, 1998.

GRAF, H. F. **Transmitância Incorporada, Energia Arquitetura: sua relação nas superfícies do invólucro de uma edificação residencial unifamiliar conforme a Norma NBR 12721**, 2011. Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil.

ICC. IECC - International Energy Conservation Code. **International Code Council**, 2012.

INMET. Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 27/4/2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. População residente - Censo Demográfico 2010. WebCart beta. IBGE Cidades@. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 21/11/2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE - Países@. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/paisesat/>. Acesso em: 21/11/2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Portaria n. 18. **Eletrobrás**, 2012. Rio de Janeiro, RJ.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. European Standard EN 15251. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. , 2007. Brussels, Belgium.

IPT. Formulação de critérios para avaliação de desempenho de habitações. Relatório técnico n. 16.277. **Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo**, 1981. São Paulo.

JELLE, B. P.; GUSTAVSEN, A.; BAETENS, R. The path to the high performance thermal building insulation materials and solutions of tomorrow. **Journal of Building Physics**, v. 34, n. 7465, p. 99–123, 2010. Disponível em: <http://jen.sagepub.com/content/34/2/99.full.pdf+html >. .

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3º ed. ELETROBRAS, 2014.

MATOS, M.; SIMON, F.; LAMBERTS, R. Análise de área de abertura para ventilação na cidade de Florianópolis utilizando o programa Comis/Energyplus. **ENCAC - ELACAC 2005**, 2005. Maceió, Alagoas.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil: Região Sul. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Rio de Janeiro, RJ, 1989.

OLGYAY, V. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism.** 4º ed. Princeton, New Jersey, USA.: Princeton University Press, 1973.

PAPST, A. L. **Uso de Inércia Térmica no Clima Subtropical: Estudo de Caso em Florianópolis-SC**, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

PBE. Programa Brasileiro de Etiquetagem. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/conhecendo-pbe-edifica>. .

PEARSON PRENTICE-HALL INC. Clima temperado no mundo. Disponível em: <http://web.gccaz.edu/~lnewman/gph111/topic_units/climate/climate2.html >. Acesso em: 20/4/2010.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. , p. 1633–1644, 2007.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

ROMERO, M. A. B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. 2º ed. São Paulo: ProEditores, 2000.

RORIZ, M. Base de dados climáticos de 411 municípios brasileiros. Arquivos em formato de EPW (Energyplus Weather Data). **ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações**, 2012a. Disponível em: <http://www.roriz.eng.br/epw_9.html>. .

RORIZ, M. RevZbBr: Propostas de Revisão do Zoneamento Bioclimático do Brasil. , 2012b. São Carlos, SP: ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Uma Proposta de Norma Técnica Brasileira sobre Desempenho Térmico de Habitações Populares. **In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, 1999. Fortaleza.

RUDOFSKY, B. **ARCHITECTURE WITHOUT ARCHITECTS: A short introduction to non-pedigreed Architecture.** New York: Museum of Modern Art, 1964.

SCHNIEDERS, J.; FEIST, W.; SCHULZ, I.; KRICK, B. . Passive House for different climate zones. **Feist, J; Passivhaus Institute & University of Innsbruck**, p. 536, 2012.

SILVA, M. A. C. Palestra: Norma de Desempenho - NBR 15575 - e seu impacto sobre o projeto. **Núcleo de Gestão e Inovação. Fórum AsBEA**, 2009.

SZOKOLAY, S. V. **Thermal Design of Buildings**. 2603, RAIA Education Division 2a Mugga Way Red Hill ACT, Austrália, 1987.

TRIMBLE NAVIGATION LIMITED. Sketchup PRO 13.0.4812. , 2014. Disponível em: <http://www.sketchup.com/>. .

TUBELO, R. C. S.; RODRIGUES, L. T.; GILLOT, M. A Parallel between the Brazilian Energy Labelling System and the Passivhaus Standard for Housing. **PLEA2013**, 2013.

TUBELO, R. C. S.; RODRIGUES, L. T.; GILLOT, M. A Comparative Study of the Brazilian Energy Labelling System and the Passivhaus Standard for Housing. **Buildings 2014, 4**, p. 207–221, 2014.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. EnergyPlus 8.1. Energy Simulation Software. , 2014. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>. .

UCLA. DEPARTMENT OF ARCHITECTURE AND URBAN DESIGN - UNIVERSITY OF CALIFORNIA. Climate Consultant 5.5. , 2014. Los Angeles. Disponível em: <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/>. .

WATSON, D.; LABS, K. **Climatic Design: Energy-efficient Building Principles and Practices**. New York: McGrow-Hill, 1983.

YILMAZ, Z. Evaluation of energy efficient design strategies for different climatic zones: Comparison of thermal performance of buildings in temperate-humid and hot-dry climate. **Energy and Buildings**, v. 39, p. 306–316, 2007.

APÊNDICE A – Escolha das cidades

ETAPA 1

Pertencentes à relação de 330 cidades brasileiras que tiveram os climas classificados em Zonas Bioclimáticas pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005); classificadas em Zonas Bioclimáticas 1 e 2; Localizadas na região Sul do Brasil; possuem dados climáticos em formato de arquivo EPW, pertencentes ao registro em 411 estações climatológicas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) que tiveram recente revisão RORIZ (2012a).

UF	Cidade	Zona Bioclimática	Possui arquivo EPW
PR	Castro	1	SIM
PR	Curitiba	1	SIM
PR	Guarapuava	1	NÃO
PR	Ivaí	2	SIM
PR	Jaguariaiva	2	NÃO
PR	Palmas	1	NÃO
PR	Ponta Grossa	2	NÃO
PR	Rio Negro	2	NÃO
RS	Alegrete	2	SIM
RS	Bagé	2	NÃO
RS	Bom Jesus	1	NÃO
RS	Caxias do Sul	1	NÃO
RS	Cruz Alta	2	SIM
RS	Encruzilhada do Sul	2	NÃO
RS	Passo Fundo	2	SIM
RS	Pelotas	2	NÃO
RS	Santa Maria	2	SIM
RS	Santa Vitória do Palmar	2	NÃO
RS	São Francisco de Paula	1	NÃO
RS	São Luiz Gonzaga	2	SIM
RS	Uruguaiana	2	SIM
SC	Araranguá	2	SIM
SC	Lages	1	NÃO
SC	Laguna	2	NÃO
SC	Porto União	2	NÃO
SC	São Joaquim	1	SIM
SC	Urussanga	2	SIM
SC	Valões	2	NÃO
SC	Xanxerê	2	SIM

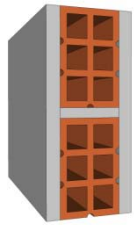
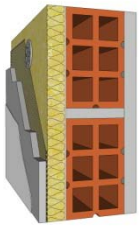
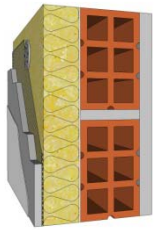
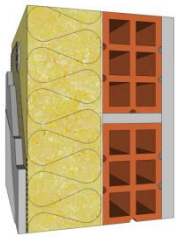
ETAPA 2

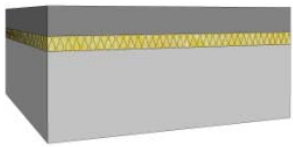
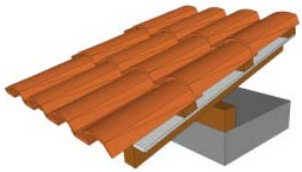
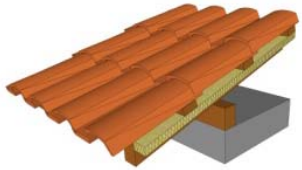
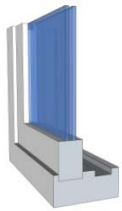
Dentre 13 cidades que atenderam os critérios previamente estabelecidos, escolheu-se três cidades: uma cidade representativa do extremo frio encontrado no país e outras duas cidades representativas da Zona Bioclimática 1 e 2 que apresentam a maior população (IBGE, 2010).

UF	Cidade	ZB	GHA18 (°Ch)*	GHR23 (°Ch)*	GHR26 (°Ch)*	População (hab.)
PR	Castro	1	23413	2485	456	67.084
PR	Curitiba	1	19294	2531	484	1751907
PR	Ivaí	2	16213	6330	2006	12815
RS	Alegrete	2	19548	10400	4590	77653
RS	Cruz Alta	2	19718	7898	3223	62821
RS	Passo Fundo	2	22377	4172	1218	184826
RS	Santa Maria	2	18164	4357	3548	261031
RS	São Luiz Gonzaga	2	14386	12420	5671	34556
RS	Uruguaiana	2	18333	11338	5071	125435
SC	Araranguá	2	13244	5568	1431	61310
SC	São Joaquim	1	45055	113	1	24812
SC	Urussanga	2	13598	8157	3103	20223
SC	Xanxerê	2	18129	3106	565	44128

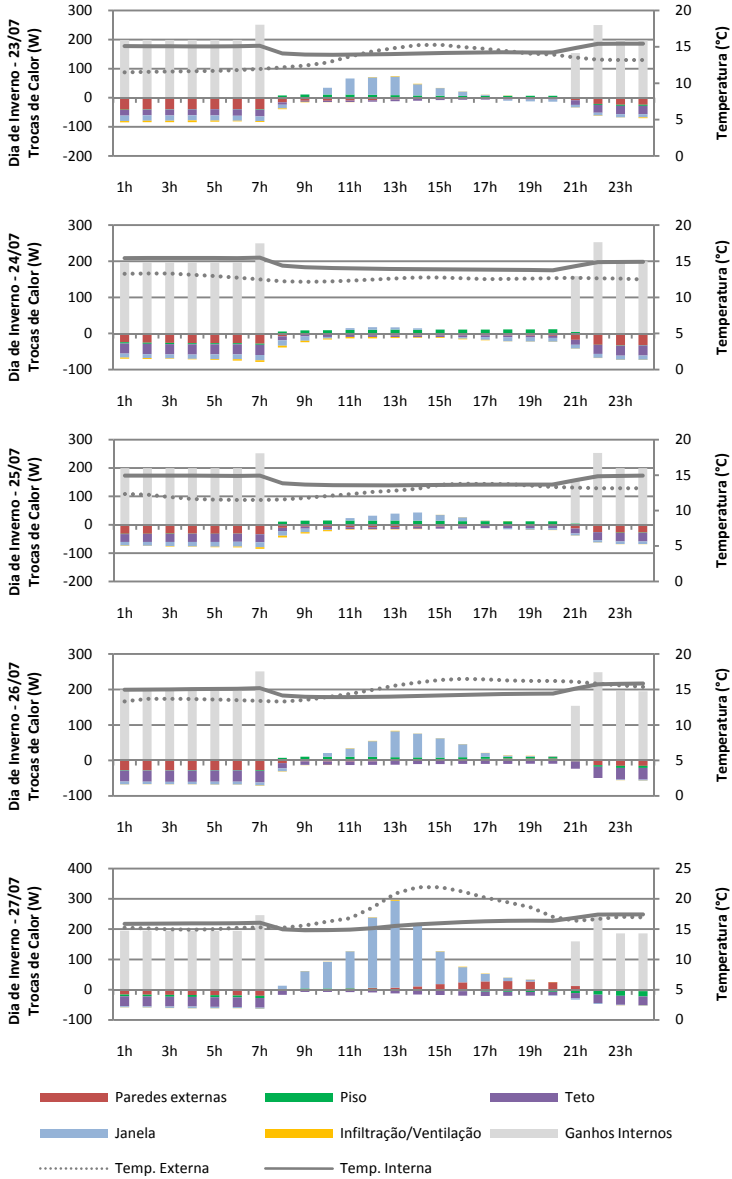
*Dados do arquivo EPW RORIZ (2012a).

APÊNDICE B – Propriedades dos componentes da edificação

	Representação gráfica	Transmitância Térmica [W/m²K]	Capacidade Térmica [kJ/m²K]	Descrição
PAREDE		2,38	154	Tijolo Cerâmico (9x14x24cm) + Reboco (20mm)
		1,02	156	Tijolo Cerâmico (9x14x24cm) + Reboco (20mm) + isolamento térmico e=25mm
		0,65	158	Tijolo Cerâmico (9x14x24cm) + Reboco (20mm) + isolamento térmico e=50mm
		0,38	162	Tijolo Cerâmico (9x14x24cm) + Reboco (20mm) + isolamento térmico e=100mm

	Representação gráfica	U [W/m²K]	CT [kJ/m²K]	Descrição
PISO		4,04	360	Contrapiso (30mm) + Laje em concreto (120mm)
		1,71	381	Contrapiso (40mm) + isolamento térmico (20mm) + Laje em concreto (120mm)
COBERTURA		2,31	378	Telha Cerâmica + isolamento térmico IPLA 5mm + Camada de Ar+ Laje em concreto (120mm)
		1,13	380	Telha Cerâmica + isolamento térmico 25mm + Camada de Ar+ Laje em concreto (120mm)
VIDRO		5,89	**Fator Solar** 0,86	Vidro Simples 3mm
		2,70	0,70	Vidro Duplo (Vidro Simples 3mm + Ar 12,7mm + Vidro Simples 3mm)

APÊNDICE C – Balanço térmico da semana típica de inverno para a cidade de Santa Maria



APÊNDICE D – Cruzamento entre as alterações de área de janela e aplicação de isolamento térmico na parede

Quadro 29 - Resultado em Graus-hora das alterações de área de janela e aplicação de diferentes isolamentos térmicos nas paredes na Zona Térmica 1 (Sala de Estar).

	Área de janela	GHA18 (°Ch)				GHR23 (°Ch)			
		Isolamento Térmico (mm)				Isolamento Térmico (mm)			
	[% piso]	0	25	50	100	0	25	50	100
SÃO JOAQUIM	14%	23110	21285	20596	19999	0	0	0	0
	21%	22987	21142	20447	19825	0	0	0	0
	34%	22767	20895	20193	19589	0	0	0	0
	41%	22228	20225	19479	18836	0	0	0	0
CURITIBA	14%	8932	8627	8420	8308	33	1	1	0
	21%	8881	8487	8350	8233	36	3	1	0
	34%	8776	8355	8206	8080	41	4	2	1
	41%	8583	8116	7948	7804	53	7	3	2
SANTA MARIA	14%	8233	7692	7493	7324	4131	3549	3393	3274
	21%	8201	7654	7453	7283	4177	3606	3454	3338
	34%	8131	7572	7366	7193	4239	3682	3535	3423
	41%	7974	7379	7161	6977	4451	3917	3780	3676

Quadro 30 - Resultado em Percentagem de Otimização das alterações de área de janela e aplicação de diferentes isolamentos térmicos nas paredes na Zona 1 (Sala de Estar).

	Área de janela	OTIMIZAÇÃO GHA18 (%)				OTIMIZAÇÃO GHR23 (%)			
		Isolamento Térmico (mm)				Isolamento Térmico (mm)			
	[% piso]	0	25	50	100	0	25	50	100
SÃO JOAQUIM	14%		8%	11%	13%		-	-	-
	21%	1%	9%	12%	14%	-	-	-	-
	34%	1%	10%	13%	15%	-	-	-	-
	41%	4%	12%	16%	18%	-	-	-	-
CURITIBA	14%		3%	6%	7%		98%	98%	99%
	21%	1%	5%	7%	8%	-8%	91%	97%	99%
	34%	2%	6%	8%	10%	-22%	88%	95%	98%
	41%	4%	9%	11%	13%	-60%	80%	90%	95%
SANTA MARIA	14%		7%	9%	11%		14%	18%	21%
	21%	0%	7%	9%	12%	-1%	13%	16%	19%
	34%	1%	8%	11%	13%	-3%	11%	14%	17%
	41%	3%	10%	13%	15%	-8%	5%	8%	11%

Quadro 31 - Resultado em Graus-hora das alterações de área de janela e aplicação de diferentes isolamentos térmicos nas paredes na Zona Térmica 3 (Dormitório 2).

	Área de janela	GHA18 (°Ch)				GHR23 (°Ch)			
		Isolamento Térmico (mm)				Isolamento Térmico (mm)			
	[% piso]	0	25	50	100	0	25	50	100
SÃO JOAQUIM	14%	20825	18449	17515	16696	0	0	0	0
	21%	20517	18149	17236	16365	0	0	0	0
	34%	19945	17612	16741	15990	0	0	0	0
	41%	18704	16304	15424	14669	0	0	0	0
CURITIBA	14%	7284	6804	6505	6314	37	0	0	0
	21%	7145	6559	6330	6132	57	4	1	0
	34%	6849	6210	5966	5752	108	21	14	11
	41%	6241	5537	5272	5041	183	54	43	36
SANTA MARIA	14%	7077	6307	6016	5774	4307	3596	3417	3287
	21%	7006	6238	5952	5709	4553	3894	3732	3613
	34%	6829	6063	5779	5542	4789	4220	4094	4003
	41%	6381	5597	5313	5074	5256	4697	4590	4515

Quadro 32 - Resultado em Percentagem de Otimização das alterações de área de janela e aplicação de diferentes isolamentos térmicos nas paredes na Zona 3 (Dormitório 2).

	Área de janela	OTIMIZAÇÃO GHA18 (%)				OTIMIZAÇÃO GHR23 (%)			
		Isolamento Térmico (mm)				Isolamento Térmico (mm)			
	[% piso]	0	25	50	100	0	25	50	100
SÃO JOAQUIM	14%		11%	16%	20%		-	-	-
	21%	1%	13%	17%	21%	-	-	-	-
	34%	4%	15%	20%	23%	-	-	-	-
	41%	10%	22%	26%	30%	-	-	-	-
CURITIBA	14%		7%	11%	13%		100%	100%	100%
	21%	2%	10%	13%	16%	-55%	88%	96%	99%
	34%	6%	15%	18%	21%	-196%	42%	61%	69%
	41%	14%	24%	28%	31%	-398%	-48%	-17%	1%
SANTA MARIA	14%		11%	15%	18%		17%	21%	24%
	21%	1%	12%	16%	19%	-6%	10%	13%	16%
	34%	4%	14%	18%	22%	-11%	2%	5%	7%
	41%	10%	21%	25%	28%	-22%	-9%	-7%	-5%

APÊNDICE E – Registro de temperaturas mínimas, médias e máximas ao longo do ano para cada caso estudado

Quadro 33 - Registro de temperaturas mínimas, médias e máximas ao longo do ano para cada caso estudado.

		ANUAL			VERÃO			OUTONO			INVERNO			PRIMAVERA		
		MÍNIMA	MÉDIA	MÁXIMA	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX
SÃO JOAQUIM	0	-4.1	13.2	26.5	7.0	16.8	26.5	-4.1	12.0	23.5	-1.5	11.0	25.6	1.2	13.2	24.8
	1	9.6	15.9	21.3	9.6	18.5	21.3	9.6	14.8	19.0	10.1	14.2	18.9	11.1	16.0	20.6
	2	11.4	16.1	20.3	11.4	18.4	20.3	11.4	15.1	18.5	11.6	14.6	18.0	12.4	16.3	19.8
	3	11.9	16.2	20.1	11.9	18.4	20.1	11.9	15.2	18.3	12.1	14.8	17.8	12.8	16.4	19.7
	4	12.3	16.3	20.0	12.3	18.4	20.0	12.3	15.3	18.1	12.4	14.9	17.6	13.1	16.4	19.7
	5	**12.4**	16.3	**19.8**	**12.4**	18.4	**19.8**	**12.4**	15.3	**18.0**	**12.6**	14.9	**17.6**	**13.3**	16.4	**19.6**
	6	12.3	16.6	21.0	12.3	18.9	21.0	12.3	15.6	19.0	12.4	15.2	18.0	13.3	16.9	20.7
	7	10.9	17.1	22.9	10.9	19.9	22.9	11.0	15.9	20.7	10.9	15.1	19.3	12.4	17.4	22.0
	8	11.7	17.4	22.8	11.7	20.0	22.8	11.7	16.3	20.8	11.7	15.6	19.4	13.0	17.7	22.0
CURITIBA	0	-0.1	17.3	31.7	-0.1	20.3	31.7	-0.1	16.2	28.0	5.1	15.2	29.6	5.6	17.6	31.7
	1	13.1	18.4	23.0	13.1	20.8	23.0	13.1	17.5	20.8	13.6	16.3	19.4	15.2	19.0	22.8
	2	13.4	18.4	22.9	13.4	20.8	22.9	13.4	17.6	20.7	13.8	16.3	19.3	15.3	19.0	22.8
	3	13.6	18.4	22.7	13.6	20.8	22.7	13.6	17.6	20.6	14.0	16.3	19.0	15.4	19.0	22.6
	4	13.8	18.4	**22.5**	13.8	20.7	**22.5**	13.8	17.6	**20.6**	14.1	16.3	**18.9**	15.4	19.0	**22.3**
	5	13.6	18.7	23.7	13.6	21.1	23.7	13.6	17.9	20.9	14.0	16.6	19.6	15.5	19.3	23.5
	6	13.2	19.4	25.3	13.2	21.7	25.3	13.2	18.5	22.2	13.7	17.4	21.7	15.6	19.9	25.2
	7	**13.9**	19.6	25.2	**13.9**	21.8	25.2	**13.9**	18.7	22.3	**14.2**	17.8	21.6	**16.1**	20.0	25.0
	8	11.9	18.4	24.4	0.0	21.0	24.3	11.9	17.5	21.4	12.9	16.3	20.8	14.6	19.0	24.4
SANTA MARIA	0	-0.2	19.0	38.3	-0.2	24.2	38.3	4.1	17.4	32.7	-0.2	14.2	33.8	7.5	20.1	38.3
	1	10.6	20.0	29.0	10.6	24.6	29.0	14.0	19.2	25.8	10.6	15.7	22.7	15.0	20.5	26.2
	2	11.9	19.9	27.8	11.9	24.4	27.8	14.7	19.3	24.8	11.9	15.8	21.1	15.5	20.3	24.7
	3	12.3	19.9	27.5	12.3	24.3	27.5	14.9	19.4	24.6	12.3	15.9	20.6	15.7	20.3	24.2
	4	12.6	19.9	27.3	12.6	24.3	27.3	15.0	19.4	24.5	12.6	15.9	20.2	15.8	20.2	23.9
	5	**12.8**	19.9	**27.1**	**12.8**	24.2	**27.1**	15.0	19.4	**24.4**	**12.8**	15.9	**19.9**	15.8	20.1	**23.6**
	6	11.5	20.7	30.2	11.5	25.2	30.2	14.8	19.7	25.8	11.5	16.7	23.9	**17.0**	21.5	26.7
	7	12.5	20.4	28.7	12.5	25.2	30.2	**15.1**	19.7	25.6	12.5	16.4	21.7	16.0	20.7	25.0
	8	12.6	20.2	28.2	12.6	24.6	28.2	15.1	19.6	25.1	12.6	16.2	21.1	16.0	20.5	24.7

LEGENDA:

0 - Temperatura externa
1 - Caso Base
2 - Isolamento térmico parede 25mm
3 - Isolamento térmico parede 50mm
4 - Isolamento térmico parede 100mm
5 - Isolamento térmico parede 100mm + área de janela 41% do piso
6 - Isolamento térmico parede 100mm + área de janela 41% do piso + Isolamento piso 15mm
7 - Isolamento térmico parede 100mm + área de janela 41% do piso + Isolamento cobertura 25mm
8 - Isolamento térmico parede 100mm + área de janela 41% do piso + vidro duplo